



# Návrh konstrukčního řešení pro automatické 3D skenování osob.

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení  
*Autor práce:* **Bc. Vratislav Malý**  
*Vedoucí práce:* Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vratislav Malý**

Osobní číslo: **S16000346**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**

Název tématu: **Návrh konstrukčního řešení pro automatické 3D skenování osob.**

Zadávající katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Hlavním cílem práce je návrh a realizace konstrukčního řešení pro automatické skenování předmětů a lidského těla pomocí senzoru Kinect či jiného obdobného přístroje.

Dílčí cíle, kterých má být dosaženo:

1. Seznámení se se senzorem Kinect a jeho využitím pro 3D digitalizaci, s formátem VRML a s principy optické digitalizace.
2. Rešerše prací na podobné téma - přehled současného stavu poznání (bude součástí teoretické části DP). Testování a odladění nastavení SW pro skenování.
3. Formulace řešeného problému a jeho analýza, návrh metodického přístupu k řešení.
4. Návrh a realizace konstrukčního řešení (např. pohyblivého stojanu, otočné platformy) pro automatické skenování lidského těla nebo jiných objektů. Návrh a případná realizace řízení pohybu komponent.
5. Posouzení navrženého řešení, diskuze, závěr.
6. Součástí DP bude příprava odborného článku na řešené téma.

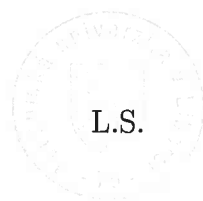
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

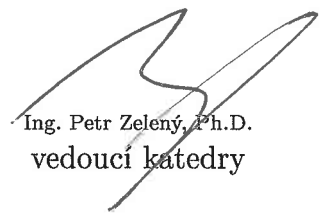
- [1]Arduino Learning: Getting Started with Arduino. In: Arduino [online]. 2014 [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>  
[2]Scanect - 3D Scaning. In: Scanect [online]. 2016 [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: <http://skanect.occipital.com/>  
[3]KSCAN3D - 3D Scaning. In: KScan3D [online]. 2016 [2017-10-05]. Dostupné z: <http://www.kscan3d.com/>  
[4]BALÁTĚ, J. Automatické řízení. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 663 s. ISBN 978-80-247-4116-1.  
[5]HLAVÁČ, V. a M. ČONKA. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992. ISBN 8085424-67-3.  
[6]ZHANG, S. Handbook of 3D Machine Vision: Optical Metrology and Imaging. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN: 978-1-4398-7219-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.  
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání diplomové práce: 15. listopadu 2017  
Termín odevzdání diplomové práce: 15. května 2019

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
Ing. Petr Zelený, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2017

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Rád bych tímto způsobem poděkoval p. Ing. Radomíru Mendřickému, Ph.D. za podporu a vedení celou diplomovou prací. Velké poděkování patří mé rodině a slečně Líbalové, díky které jsem byl schopný dostat se tak daleko. Velké poděkování patří mým přátelům a studijním kolegům. A nemalé poděkování samozřejmě patří mé rodině, která mi studium umožnila a v jeho průběhu mi byla oporou.

## **Anotace**

Diplomová práce v první části pojednává o problematice 3D skenování, seznamuje čtenáře s pojmem digitalizace a ukazuje využití a základní principy 3D skenování. Druhá část pojednává o samotném postupu návrhu skenovacího zařízení pro skenování osob a objektů. Na základě návrhu následně dojde ke stavbě reálného zařízení.

**Klíčová slova:** 3D skenování, digitalizace, automatické skenování osob, Sense

## **Anotation**

First part of this thesis is devoted to problematic of 3D scanning. It introduce the reader with concepts of digitalization, show practical use and basic principles of 3D scanning. Second part is focused on the design of automatical scanning device for humans and objects. Real device will be made on the observations gained in second part.

**Keywords:** 3D scanning, digitalization, automatical scanning of humans and objects, Sense, scanning

# Obsah

1	Úvod.....	10
2	Digitalizace a skenery .....	11
2.1	Digitalizace .....	11
2.2	Digitalizace 3D objektů.....	11
2.3	Zajímavé digitalizované projekty.....	13
3	Rozdělení skenerů.....	14
3.1	Kontaktní skenery .....	14
3.2	Bezkontaktní skenery .....	15
3.2.1	Laserové skenery .....	16
3.2.2	Optické skenery .....	17
3.2.3	Fotogrammetrie.....	18
4	Metody měření vzdáleností.....	19
4.1	Metoda triangulace.....	19
4.1.1	Aktivní triangulace .....	19
4.1.2	Pasivní triangulace .....	21
4.2	Měření doby letu světla.....	22
5	Využití 3D skenerů pro skenování lidského těla .....	23
5.1	3D skener ve zdravotnictví.....	24
5.1.1	Tvorba protéz .....	25
5.1.2	Tvorba 3D figurek .....	25
5.2	3D skener ve fitness .....	26
5.3	3D skener a móda.....	26
6	Profesionální skenery.....	27
6.1	Texel Portal .....	27
6.2	ArtecShapifyBooth.....	28
6.3	Fuboss Scanner.....	29
7	Formát VRML .....	30

8	Základní koncepce návrhu .....	32
9	Volba skeneru .....	34
9.1	Kinect .....	34
9.2	Sense 3D scanner .....	36
9.3	Srovnání skenů .....	38
10	Posuvný šroub .....	42
10.1.1	Kuličkový šroub .....	42
10.1.2	Trapézový šroub .....	43
10.1.3	Volba šroubu .....	43
10.1.4	Uložení šroubu .....	47
11	Vedení .....	48
11.1	Platforma .....	48
12	Návrh pohonu .....	50
12.1	Krokové motory .....	50
12.1.1	Výpočet potřebného momentu pro posuvnou osu .....	52
12.1.2	Výpočet potřebného momentu pro rotující osu .....	58
13	Řídicí systém .....	61
13.1	Řízení osy Z a rotace skeneru .....	62
13.2	Řízení otočného stolu .....	62
14	Cenová kalkulace .....	63
	Bibliografie .....	65



## Použité symboly

Symbol	Jednotky	Význam
$m$	[kg]	Hmotnost platformy
$x_{\max}$	[m]	Zdvih
$f$	[-]	Součinitel tření ve šroubu
$v_p$	[m/s]	Posuvná rychlost
$\alpha$	[rad]	Úhel naklonění šroubu
$t$	[s]	Čas zrychlení šroubu
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Tíhové zrychlení
$E$	[MPa]	Modul pružnosti
$F_{\text{zat}}$	[N]	Zatěžující síla
$G$	[N]	Gravitační složka síly
$F_t$	[N]	Třecí síla
$F_d$	[N]	Dynamická síla
$d$	[mm]	Předběžný průměr šroubu
$s$	[mm/ot]	Stoupání šroubu
$d_n$	[mm]	Volený průměr šroubu
$n_{\text{krit}}$	[ot/s]	Kritické otáčky
$n$	[ot/s]	Skutečné otáčky
$M_m$	[Nm]	Potřebný moment krok. Motoru
$\omega_o$	[rad/s]	Úhlová rychlost šroubu
$\varepsilon_s$	[rad/s <sup>2</sup> ]	Úhlové zrychlení šroubu
$\varepsilon_m$	[rad/s <sup>2</sup> ]	Úhlové zrychlení motoru

# 1 Úvod

Nepostradatelnou součástí moderní doby je digitalizace, která zasahuje do velké škály odvětví, a díky které se lidstvu otevírají nové možnosti. Vyšší úroveň však nezískávají pouze obory, jejichž primárním úkolem digitalizace je, ale i sféry, které s tímto okruhem zdánlivě nesouvisí. Mezi konkrétní obory, ve kterých se digitalizace uplatňuje, patří zdravotnictví či oděvní průmysl. Obě odvětví vycházejí především z lidské zručnosti, avšak digitalizace je posouvá na mnohem vyšší úroveň. I v těchto oborech můžeme zaznamenat využití 3D skeneru.

Cílem této práce je návrh zařízení pro automatické skenování osob či objektů, jejichž velikost je limitována pracovním prostorem skeneru. Někdo může namítnout, že profesionální skenery již existují. Nesou s sebou však jedno velké mínus, kterým je vysoká cena. Ta se může vyšplhat až na částku několika milionů korun. Katedra výrobních strojů se ve značné části své činnosti zabývá technologií rapid prototyping (tj. 3D tisk), která je úzce spjata s 3D skenováním. Levné, ale samozřejmě zcela funkční zařízení, by pomohlo k rozšíření 3D skenování nejen v akademické obci, ale mohlo by se stát dostupnějším i pro další obory.

Práce bude rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. V teoretické části budou čtenáři seznámeni s pojmem digitalizace, 3D skenerem, typy skenerů a metodami měření. V druhé, tedy praktické části, bych se rád zabýval již konkrétním návrhem zařízení. Základem zpracování zařízení je stanovení základního konceptu pohybového aparátu. Poté se věnuji dílčím komponentům skeneru, jejich návrhům a zdůvodněním konkrétní volby.

Jak jsem již výše zmínil, výstupem této práce by mělo být funkční zařízení, které bude schopno plynulého skenování osob a objektů, přičemž cena navrhovaného zařízení bude jen zlomkem ceny profesionálních 3D skenerů. Díky této nízké ceně by mělo být zařízení snadno dostupné mnoha dalším fakultám či jednotlivcům.

## 2 Digitalizace a skenery

### 2.1 Digitalizace

Ať chceme, nebo ne žijeme v digitální době. Na ulicích vidíme osoby, které pomocí svých chytrých telefonů zaznamenávají své radostné chvíle ve formě fotografie. Na internetu lze v dnešní době najít leckteré literární dílo, které můžete po pár kliknutích stáhnout a následně přečíst. Žádná z těchto věcí by nebyla možná bez digitalizace. S pomocí digitalizace převádíme informace, dokumenty, fotografie, zvuky nebo objekty z analogové formy do digitální (elektronická podoba). A to za účelem usnadnění práce, zvýšení produktivity a ušetření času. Po tomto převodu jsme schopni data velmi snadno upravovat, třídit a sdílet.

Archivy, které byly plné informací v papírové formě, se stanou historií, jelikož všechna data se dají „uskladnit“ na flash paměť o velikosti krabičky na svačinu nebo mohou být uloženy do cloudového úložiště. Dále je nutné říci, že informace v digitální formě nestárne a její životnost je dána životností media, na kterém je uložena.

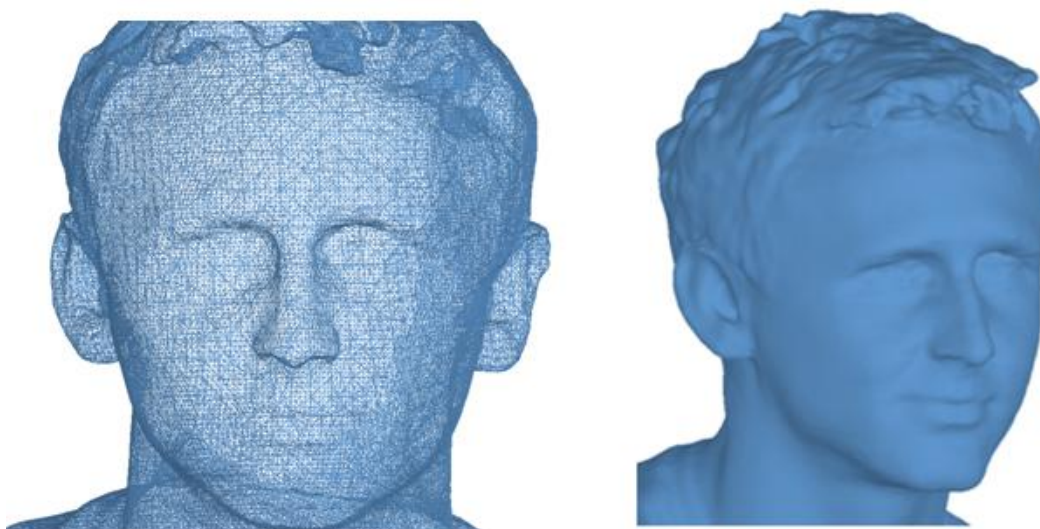


*Obr. 1 – Porovnání historie s budoucností [25] [28]*

### 2.2 Digitalizace 3D objektů

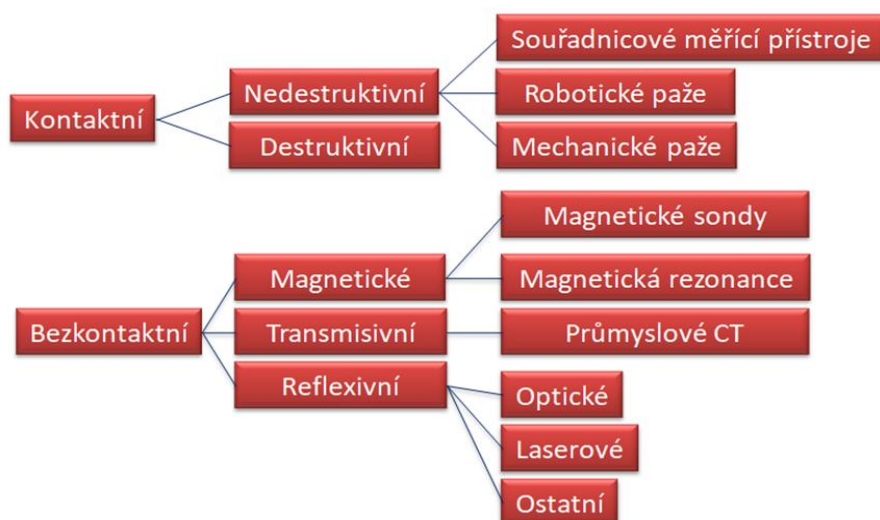
Tento typ digitalizace spočívá v tom, že přístroj snímá jednotlivé body povrchu a zapamatovává si souřadnice těchto bodů. Dochází k vytvoření mraku bodů, který udává geometrický tvar skenovaného tělesa. Toto mračno bodů tvoří poté polygonální síť, která se pomocí softwaru převede na plošný nebo objemový objekt, se kterým můžeme dále pracovat v systémech CAD nebo CAM.

Skenování bodů probíhá velice rychle, u některých výkonných skenerů se tato rychlost pohybuje v milionech bodů za sekundu s hustotou stovky bodů na  $1\text{mm}^2$ .



Obr. 2 – Naskenovaná tvář (vlevo mrak bodů, vpravo tvář tvořena plochami)

Zaznamenávání může probíhat dvěma základními způsoby a to *kontaktní metodou* nebo *bezkontaktní metodou*. Detailní dělení ukazuje obr.3



Obr. 3 – Rozdělení skenerů [12]

## 2.3 Zajímavé digitalizované projekty

V České republice je velmi známým projektem 3D digitalizace Lengweilův model Prahy. Tento model vytvořil Antonín Langweil z papírové lepenky na dřevěné konstrukci v letech 1826-1837. Tvoří ho přes 2000 domů historického jádra Prahy v dokonale realistickém provedení, dokonce i se všemi zdobnými detaily fasád. Tento model je z velké části vytvořen z papíru, aby se zabránilo jeho znehodnocení důsledkem stárnutí, byl umístěn do speciální vitríny, která ho chrání před prachem tepelnými změnami apod. [1]



*Obr. 4 – Staré město, předmostí Karlova mostu (papírový model) [1]*

Je jasné, že za nějakou dobu dojde k rozpadu papíru úplně a toto unikátní dílo bude ztraceno. To bylo jasné i kurátorům z Muzea hlavního města Praha. Ti se proto rozhodli, že pomocí 3D skeneru převedou toto dílo do digitální formy, aby zůstalo zachováno pro další generace. Vzhledem ke křehkosti papíru se rozhodli využít bezkontaktní metodu skenování, která zaručila, že nedojde k poškození modelu. Výsledkem celého procesu se stal velmi detailní 3D model staré Prahy který je přístupný nejen odborníkům, ale také široké veřejnosti ve formě interaktivní hry či 3D modelu na CD-ROMu. [1]

V zahraniční digitalizaci se například můžeme setkat s projektem, jehož cílem bylo vytvoření repliky hrobky egyptského panovníka Sethiho I. Tato hrobka je považována za nejvíce zdobenou hrobku v Údolí králů. Vzhledem k vysokým nárokům na rozlišení musel být vyvinut speciální laserový skener. Replika je nyní k dispozici pro výzkumné a vzdělávací účely.

### 3 Rozdělení skenerů

#### 3.1 Kontaktní skenery

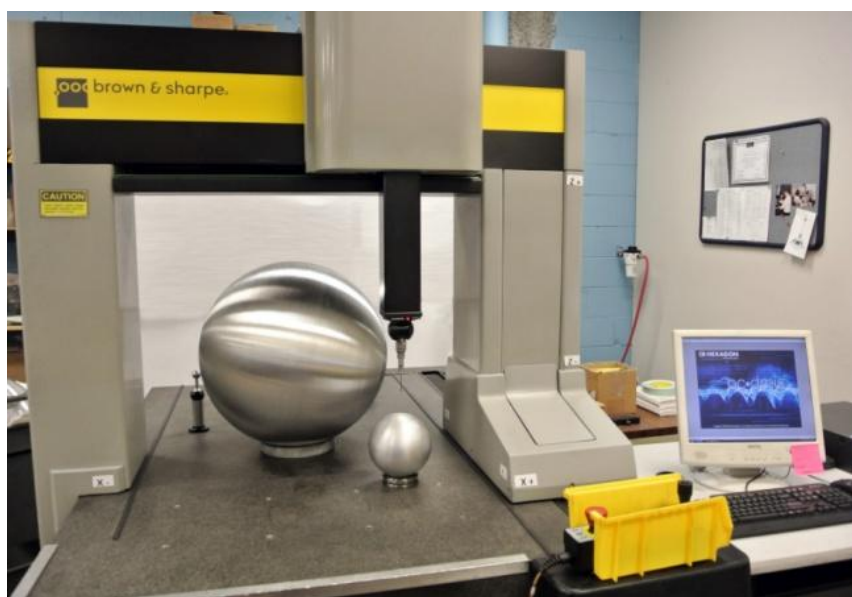
Tento druh skenerů vyžaduje přímý kontakt se skenovaným objektem. Během skenování zůstává objekt v klidu a je připevněn k podložce. Tyto skenery se vyznačují nízkou cenou a v případě souřadnicových měřicích přístrojů velmi vysokou přesností. Na druhou stranu skenování pomocí kontaktních skenerů je velmi časově náročné.

Skenování probíhá tak, že skener snímá jednotlivé body trajektorie sondy. Sonda většinou mívá formu kuličky a je spojena s pohyblivým rámem nebo ramenem. V jednotlivých pohyblivých uzlech je poté snímána poloha nebo natočení tyto hodnoty následně skener vyhodnotí a zapamatuje si jednotlivé body snímaného objektu. Následně se pomocí softwaru z těchto bodů vytvoří plochy a poté objemové těleso. Nevýhodou je, že pro kvalitní popis tvaru součásti je nutné naskenovat velký počet bodů a to má za následek značnou časovou náročnost.

Jelikož se destruktivní skenery takřka nepoužívají, zaměřím se pouze na popis nedestruktivních skenerů, které můžeme rozdělit na:

##### a) Souřadnicové měřicí přístroje

Z pravidla jsou tyto přístroje nepřenosné a je tedy nutné skenované objekty dopravit na místo skenování. Vykazují velmi vysokou přesnost, ale k digitalizaci se používají velmi zřídka. Nicméně se hojně používají pro měření součástí. [2]

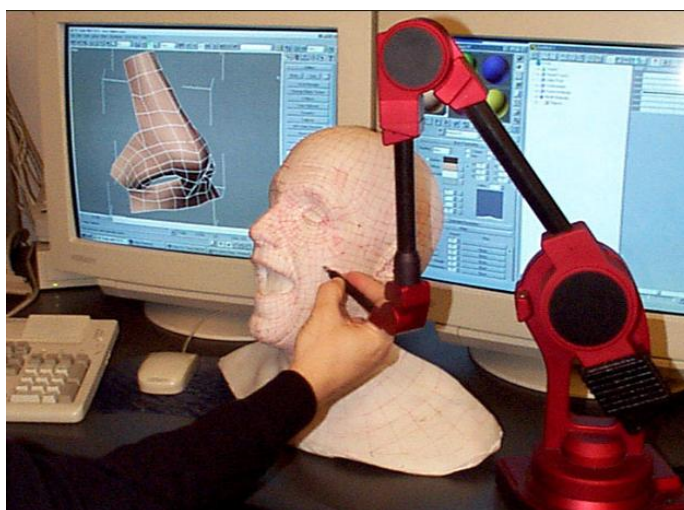


Obr. 5 – Souřadnicový měřicí přístroj [3]



### **b) Mechanické paže**

Jedná se o nejpoužívanější kontaktní skenery. Jsou většinou tvořeny z tří kloubového ramene. V každém kloubu je zakomponován enkodér. Pomocí těchto enkodérů dostáváme polohu měřicího hrotu v prostoru a tím i souřadnice skenovaných bodů. Přesnost těchto skenerů se pohybuje pouze v řádu desetin milimetrů. Proto jsou pro strojírenství takřka nepoužitelné, ale hojně jsou využívány návrháři a architektky. [4]



*Obr. 6 – Mechanická paž použita pro mapování bodů tváře [5]*

### **c) Robotické paže**

Velmi se podobají skenerům mechanickým, přičemž provoz je plně automatizovaný a řízený. Tyto paže se používají pro kontrolu kvality v provozu nebo v prostorách člověku nebezpečným. [4]

## **3.2 Bezkontaktní skenery**

Bezkontaktní skenery, na rozdíl od kontaktních skenerů, nevyžadují při skenování fyzický kontakt se skenovaným povrchem, proto s nimi můžeme snímat velmi křehké či historicky cenné předměty, aniž bychom se jich museli dotýkat. Skenery jsou schopné snímat až statisíc bodů za sekundu. Tím se výrazně odlišují od kontaktních skenerů, neboť samotné skenování se pohybuje v řádu minut. Jsou schopné skenovat s vysokou hustotou dat, u některých to mohou být stovky bodů na  $1 \text{ mm}^2$ . Přesnost těchto skenerů se pohybuje v řádu setin milimetrů.

Značnou nevýhodou těchto skenerů je, že se s nimi velmi obtížně skenují hluboké díry, dutiny popřípadě jinak složité opticky přístupné oblasti. Dále jsou tyto skenery značně náchylné na okolní osvětlení. Při nedostatku osvětlení či při nadbytečném osvět-

lení, může vznikat šum, který se projeví horší kvalitou výsledného skenu. U některých skenovaných povrchů, které jsou lesklé, průhledné nebo velmi tmavé musíme aplikovat antireflexní nástřik, abychom zaručili dobrou kvalitu skenu. [6]

### 3.2.1 Laserové skenery

Tento typ skenerů pracuje na podobném principu jako sonar ponorek. Ponorka vysílá zvukové vlny a měří čas, za jak dlouho se vlna odrazí zpět. Stejný princip funguje i u laserových skenerů, přičemž se neměří odraz zvukové vlny, ale odraz laserového paprsku zpět na CCD nebo CMOS snímače. Z doby letu paprsku od vyslání do vrácení získáme informaci o rozměru předmětu ve směru letu paprsku. Informaci o tvaru povrchu získáme z úhlu, pod kterým se paprsek vrací zpět do skeneru. Když tyto dvě informace spojíme dohromady, získáme přesnou polohu bodu (souřadnice). Abychom dostali ucelenou informaci o povrchu součásti, je nutné naskenovat celé těleso ze všech stran. V případě ručních skenerů obkroužíme celé těleso, v případě skenerů statických se skenované těleso otáčí na otočném stole. [7]

Kvalita digitalizovaného tělesa je dána hustotou, s jakou laserový paprsek pokryl plochu reálného tělesa. Výstupem je soubor dat s polygonální sítí, která definuje geometrii povrchu tělesa. Skenováním nedostaneme informaci o textuře povrchu, proto se obvykle ještě na zařízení přidávají kamery s CCD snímači, kterými jsme schopni naskenovat i barevnou mapu. Ta se ve výsledku spojí výsledným 3D modelem. Výsledkem je geometricky přesný 3D model i s přesnými texturami. V případě špatného přenosu vlivem nevhodného osvětlení lze měnit intenzitu laserového paprsku a tím optimalizovat podmínky pro správnou digitalizaci. Značnou nevýhodou těchto typů skenerů je jejich vysoká pořizovací cena.



Obr. 7– Princip snímání polohy laserového skenu [6]



### 3.2.2 Optické skenery

Digitalizace pomocí optických skenerů patří k velmi pokročilým metodám a nalézá široké uplatnění v celém spektru oborů (strojírenství, architektura, medicína, umění). V dnešní době tyto skenery využíváme zejména k *reverznímu inženýrství*. Cílem reversního inženýrství je vytvořit na základě existujícího fyzického objektu 3D objekt pro který nebyla dostupná CAD data. [8]

Princip snímání je takový, že skenovací zařízení snímá objekt z několika úhlů, a vytváří jednotlivé snímky. Počet natočení musí být dostatečný, aby byla zabráněna celá součást. Tyto snímky se následně pomocí metody aproximace složí dohromady a dojde k vytvoření trojrozměrného objektu. Některé systémy vyžadují, aby byly snímány objekty označeny referenčními body. Díky nim, skener skládá snímky do jednoho celku. Aby toho byl skener schopný je zapotřebí, aby skener viděl minimálně 3 referenční body z předchozího snímku. [2] [6]

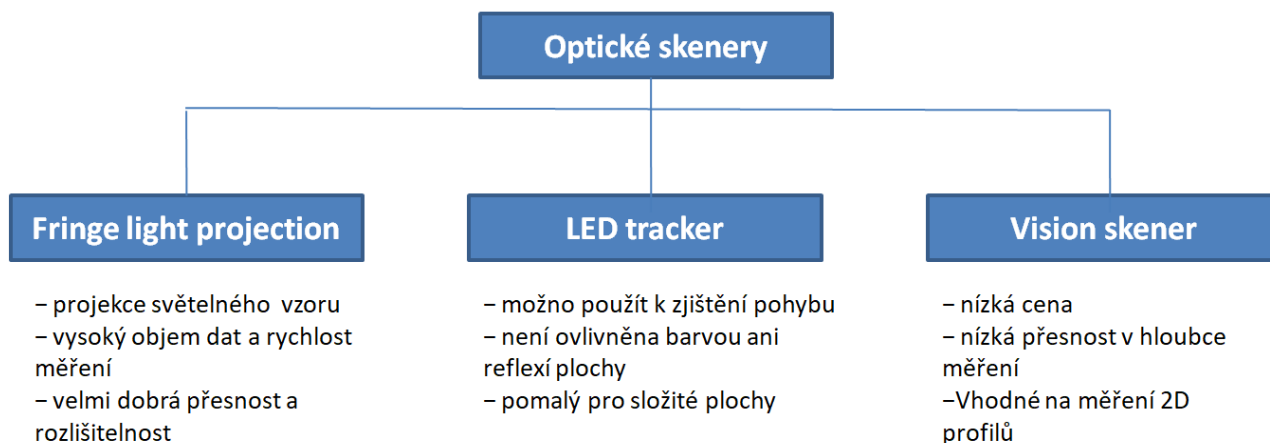
Před každým skenováním je nutná příprava, která spočívá v těchto bodech:

- Nalepení referenčních bodů
- Aplikace antireflexního nástřiku, pokud se jedná o lesklé, průhledné či černé objekty
- Pokud jsme použili nástřik, je nutné očistit referenční body
- Upnutí součásti



Obr. 8 – Optický skener ATOS Triple Scan [26]

### Dělení optických skenerů:



Obr. 9 – Dělení optických skenerů

### 3.2.3 Fotogrammetrie

Jedná se o metodu skenování, kde skenerem může být jakýkoliv výkonnější fotoaparát. Jedná se o relativně rychlou metodu skenování, která spočívá v pořízení několika snímků z různých úhlů a to nejlépe ve stejný čas, abychom redukovali možný pohyb skenovaného objektu. U objektů, které se nehýbají lze snímky pořizovat jedním fotoaparátem. Následně se tyto snímky procesují pomocí algoritmu který tyto snímky „sešije“ dohromady a vygeneruje poté 3D model. Fotogrammetrie umožňuje vytvářet modely o velmi vysoké kvalitě, dokonce i s barevnou mapou



Obr. 10 – Příklad zařízení pro fotogrametrii [9]

## 4 Metody měření vzdáleností

### 4.1 Metoda triangulace

Tato metoda je v současnosti jednou z nejpoužívanějších technik optického a laserového měření. Tuto metodu můžeme rozdělit na dvě podskupiny:

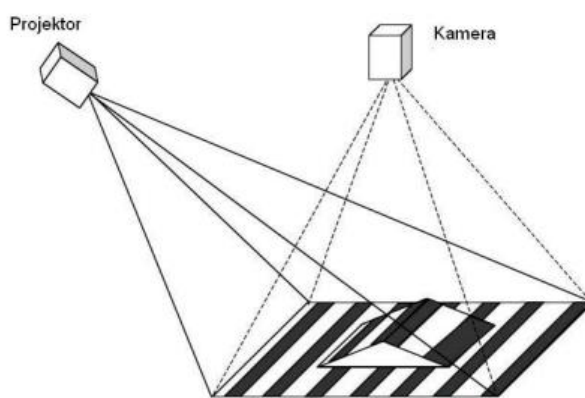
- Aktivní triangulace
- Pasivní triangulace

#### 4.1.1 Aktivní triangulace

Technika aktivní triangulace je založena na fotogrammetrické rekonstrukci, kde je povrch snímaného objektu nasvícen jedním světelným zdrojem se současným snímáním CCD(Charge Coupled Device) čipem. [10] [11]

Povrch může být nasvícen:

- Světelný paprsek (1D triangulace)
- Světelný pruh (2D triangulace)
- Strukturovaný světelný svazek (3D triangulace)

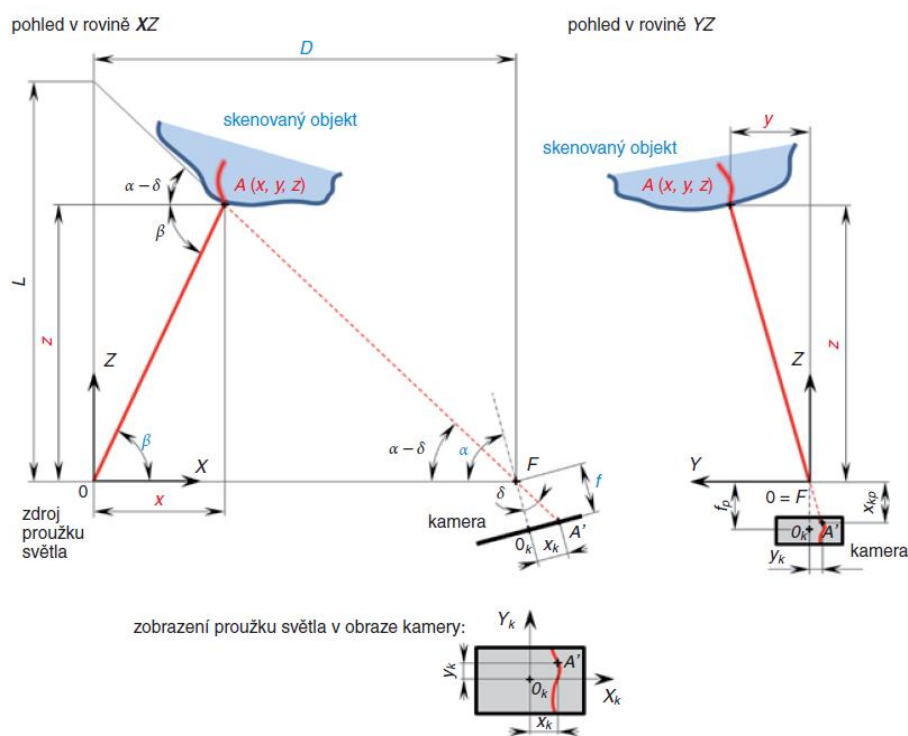


Obr. 11 – Strukturovaný svazek světla [11]

Zdroj světla spolu se snímačem a osvětleným bodem na zkoumaném objektu tvoří takzvaný triangulační trojúhelník. Spojnici mezi světelným zdrojem a snímačem pak nazýváme triangulační bází. Na straně světelného zdroje je úhel svíraný triangulační bází konstantní, kdežto na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí osvětleného bo-

du na CCD snímáči. Z velikosti tohoto úhlu lze na základě znalosti triangulační báze čít Z-tovou souřadnici bodu na povrchu objektu. [12] [11]

Abychom byli schopni vypočítat souřadnici bodu v prostoru, musíme znát konstrukční parametry skeneru, a to zejména vzdálenost projektoru světla a ohniska kamery  $D$  (triangulační báze), úhel optické osy kamery  $\alpha$ , úhel promítaného světla  $\beta$  a ohniskovou vzdálenost  $f$ . [6]



Obr. 12 – Matematický model 3D skenu

Pokud známe všechny potřebné parametry, jsme schopni sestavit tři rovnice, které nám určují souřadnice bodu v prostoru.

$$x = \frac{D \cdot \operatorname{tg} \left( \alpha - \operatorname{arctg} \frac{x_k}{f} \right)}{\operatorname{tg} \left( \alpha - \operatorname{arctg} \frac{x_k}{f} \right) + \operatorname{tg}(\beta)}$$

$$y = x \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \frac{y_k}{f \cdot \sin \alpha - x_k \cdot \cos \alpha}$$

$$z = x \cdot \operatorname{tg}(\beta)$$

#### 4.1.2 Pasivní triangulace

Na rozdíl od aktivní triangulace, pasivní triangulace nemá vlastní zdroj záření. Převážně se jedná o kombinaci několika snímacích zařízení. V závislosti na těchto kombinacích můžeme rozlišovat několik základních druhů pasivní triangulace.

- a) více snímačů, u kterých známe vzájemnou orientaci
- b) více kamer se samo kalibrací
- c) jedna kamera se samo kalibrací se zachycováním v různých polohách

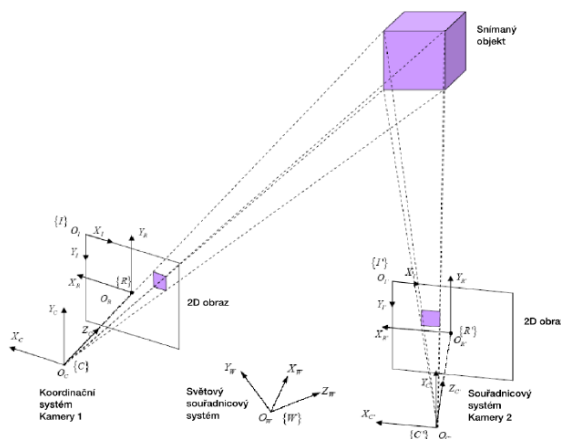
V případě samo kalibrační techniky není nutno předem znát polohu kamer, jelikož vzájemná pozice je přímo odvozována z naměřených dat. Aby skenery mohly pracovat správně, často se používá tzv. kalibrační předmět. Tento předmět je přesně definovaný a všechny jeho rozměry známe. Kalibrace probíhá skenováním tohoto předmětu z předepsaných poloh po dokončení tohoto skenování je přístroj kalibrován. [12]



*Obr. 13 – Kalibrační kříž pro kalibraci skeneru ATOS [6]*

Značnou nevýhodou této triangulace je vliv okolního prostředí. Velký podíl na kvalitě skenu má zejména osvětlení měřeného místa, které může být přexponované nebo v lepším případě nedostatečně osvětlené. Na trhu se vyskytují pokročilejší přístroje, které jsou vybaveny modulátory intenzity osvětlení, které umožňují využití v širším spektru aplikací i za horších podmínek. Nicméně tyto skenery jsou značně drahé a jejich cena se může vyšplhat až do řádu milionů korun. [12]

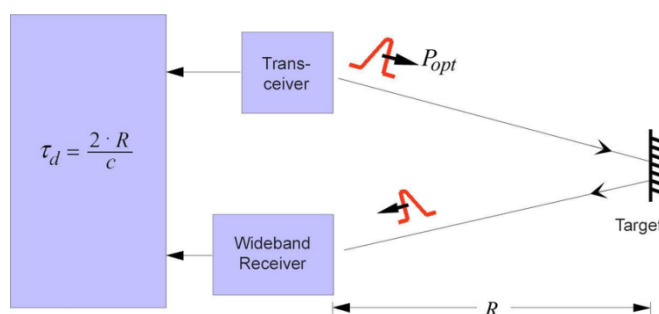
Nejčastějším zástupcem této triangulace je metoda stereovidění. Princip stereovidění se snaží napodobit funkci lidského oka při odhadu vzdálenosti. Základem jsou dva CCD snímače, které fungují jako oči skeneru. Díky těmto dvěma snímačům získáváme dva různé perspektivní obrazy. Potom z úhlu snímaného sdruženými paprsky (tj. úhlová paralaxa) získáváme ztracený třetí rozměr, a to vzdálenost povrchu od středu pohledu obou snímačů. [12]



Obr. 14 – Systém stereovidění

## 4.2 Měření doby letu světla

Tato metoda, označována v anglické literatuře TOF (Time Of Flight) je založena na měření doby letu signálu, který byl vyslán ze zdroje, a následného odrazení do přijímače. Druhů signálů může být celá řada, ale nejčastějším typem je zvukový signál či světelný paprsek. K docílení přesnosti měření je vyžadováno přesné a stálé měření času. Pro přesnost měření zhruba 1 mm je doba letu světelného signálu zhruba 6 pikosekund (0,006  $\mu$ s). Z tohoto důvodu se tato metoda používá pro topografii krajiny, skenování budov atd. [2]



Obr. 15 – Princip metody TOF [13]

Z rovnice zobrazené na obrázku můžeme vyčíslit, že pro spočítání vzdálenosti  $R$  potřebujeme znát dobu letu paprsku a jeho rychlost. V případě použití světelného paprsku se jeho rychlost téměř blíží rychlosti světla ve vakuu. Rychlost světla ve vzduchu je zhruba 299702 km/s .

## 5 Využití 3D skenerů pro skenování lidského těla

Mezi velmi důležité a často využívané skenování 3D objektů patří i skenování lidského těla. Touto metodou můžeme zachytit celé lidské tělo tak i jeho části. Mezi výhody získávání dat proporcí lidského těla patří rychlost (při využití 3D skenovací kabiny trvá skenování pouze několik desítek sekund) a vysoká přesnost bez potřeby dotyku snímaného objektu. Dle požadovaných aplikací a v závislosti na použitém skeneru může mít 3D model barvy a textury, které přesně odpovídají skenovanému objektu nebo mohou být ve formě polygonální sítě či mraku bodů. Díky 3D skenerům můžeme podstatně zvýšit naši schopnost přesně měřit a vizualizovat tvar, rozměry a plochu lidského těla. Nedávný pokrok ve skenování lidského těla nám otevřel mnoho nových cest a to zejména v medicínských aplikacích.

Hlavními metodami pro 3D skenování těla jsou fotogrammetrie a projekce strukturovaného světla. V dnešní době se však na trhu objevují stále více cenově dostupnější skenery, které mají velmi jednoduché ovládání, díky tomu jsou dostupnější i neodborné veřejnosti.



Obr. 16 – Skenovací kabinka [14]



## 5.1 3D skener ve zdravotnictví

Poptávka po 3D skenech stoupá především ve zdravotnictví. Medicína využívá těchto metod při monitorování stavu pacienta, nejčastěji při sledování těhotné ženy a vývoje plodu. Získaná data pomáhají lékařům mapovat vývoj plodu či odhalit nějaké možné komplikace.



Obr. 17 – Skenování vývoje těhotné ženy [14]

3D skeny mají ve zdravotnictví čtyři základní aplikace:

- **Epidemiologie** – použití při antropometrických studiích (obor, který se zabývá měřením, popisem a rozbořením tělesných znaků charakterizujících růst a stavbu těla), například studie o vývoji obezity u dětí
- **Diagnóza** – použití převážně k léčbě problémů souvisejících s kůží (bakterie v pórech, vrásky ...) a detekcí deformací pomocí analýzy tvaru těla pacienta jak je zachyceno ve 3D
- **Léčba** – u pacientů postižených silným popálením může použití 3D skenů rozhodnout o životě či smrti. Aby bylo poskytnuto pacientovi správné množství léků, je nutné, aby bylo přesně spočítáno množství poškozené tkáně. Na základě údajů je podáno správné množství léků. Nesprávné množství těchto léků může přivodit pacientu smrt.
- **Monitorování** – monitorování změn těla pacienta (tvar, kompozice), sledování v těhotenství či při dietě



### 5.1.1 Tvorba protéz

Velký posun přinesl 3D skener při formování náhrad končetin při kterém se využívá ruční skener. Výhodou tohoto skeneru je rychlost, nižší cena a vyšší komfort pacienta. Aby se protéza dokonale přizpůsobila končetině pacienta, je prvním krokem skenování místa, kde bude protéza přichycena. Pomocí 3D modelu je následně vytvořena protéza, která se ještě upraví pomocí softwaru. Finálním krokem je výroba protézy. V dnešní době se hojně využívá technologie rapid prototyping. Výsledná náhrada je mnohem pohodlnější, trvanlivější a efektivnější díky tomu, že je přímo „ušitá“ na míru pacientu.



*Obr. 18 – Skenování pahýlu pro vytvoření protézy [14]*

### 5.1.2 Tvorba 3D figurek

3D figurky dnes již nejsou natolik tak zásadním pokrokem pro lidstvo, jako využití 3D skeneru v lékařství. Jsou však maličkostmi pro potěšení druhého. Při tvorbě figurek jsou velmi často používány kabinkové skenery. Tento typ skeneru je velmi rychlý, a tak není potřeba při snímání zůstat v nehybné pozici více než několik desítek sekund. Ze získaných dat můžeme snadno pomocí 3D tisku vytvořit velmi identickou 3D figurku. Jedinou nevýhodou těchto figurek je vysoká pořizovací cena, která je zapříčiněna drahými přístroji potřebnými k vytvoření této drobnosti.



*Obr. 19 – Vytištěné figurky [14]*

## 5.2 3D skener ve fitness

3D skenery začali využívat dokonce i některá fitcentra. Díky těmi 3D skenerům můžeme velmi dobře sledovat změny na svém těle a posouvat se k dosažení vytoužených cílů. Skener dokáže přesně změřit tělo a sledovat růst svalů a ztrátu tuku. Také vás upozorní na nesprávné držení těla. Pokud si budete výsledky z průběžného skenování ukládat, můžete sledovat změnu ve tvaru a složení těla.



*Obr. 20 – Příklad skeneru používaný pro fitness účely [14]*

## 5.3 3D skener a móda

V poslední době byla na bázi 3D skeneru také vynalezena aplikace, která vytvoří virtuální místnost, kde si zákazníci mohou vyzkoušet oblečení, aniž by se museli svlékat a oblékat. Této pohodlnosti využilo již pár maloobchodů a využívají koncept založený na vytvoření jednoduchého profilu zákazníka, který na svůj profil naskenuje avatara v podobě svého těla. Poté může jednoduše z pohodlí domova zkoušet jednotlivé kousky, které má obchod na skladu. Nejžádanější je tato aplikace internetovými obchody, které díky ní mohou snížit častou návratnost nepadnoucího zboží.



*Obr. 21 – Vizualizace zkoušeného oblečení [14]*

## 6 Profesionální skenery

Na trhu se vyskytuje celá řada skenerů, které se liší používanými metodami skenování, rozměry a hlavně cenou. V této kapitole uvedu některé zajímavé projekty a koncepce. Skenery z pravidla tvoří rám a otočný stůl avšak záleží na koncepci a na typu metody skenování. Hlavním trendem je navrhnout rám tak, aby mohl být osazen jakýmkoliv skenerem a poskytl tak zákazníkovi širší možnosti.

### 6.1 Texel Portal

Tento skener ruského výrobce Texel. Inc je konstruován tak, že místo toho aby se vůči skeneru otáčel skenovaný objekt, otáčí se skener kolem objektu. Dále není používán jeden skener ale celkem čtyři. To má za následek rapidní snížení skenovaného času, jelikož při použití jednoho skeneru by musel naskenovat objekt ze všech stran a v celé své výšce. Výrobce tento skener dodává už i s vlastním softwarem a ovládacím rozhraním. Skenování trvá přibližně šedesát sekund a do pěti minut je model připraven na 3D tisk. Velkou nevýhodou tohoto skeneru je jeho prostorová náročnost, která je zapříčiněna otáčejícími se rameny. Cena tohoto skeneru se pohybuje okolo \$25 000 (525 000 Kč).



*Obr. 22 – Texel skener (vlevo), vytištěný model po naskenování(vpravo) [27]*

## 6.2 ArtecShapifyBooth

Artec Shapify Booth je skener umožňující skenování celého těla. Byl navržen speciálně pro výrobu 3D figurek. Tento skener používá projekci strukturovaného světla a snímání probíhá pomocí čtyř sensorů. Osoba je kompletně naskenována s texturami, barvami zhruba za dvanáct sekund. Výsledkem je detailní 3D model skenované osoby který je vygenerován během pěti minut.

Jakmile je skenovací část ukončena a je vytvořen 3D model, je možné si tento model nechat vytisknout pomocí externí služby zprostředkovanou firmou Shapify, prostřednictvím globální sítě profesionálních služeb 3D tisku. Je však možné model přeložit do STL formátu a vytisknout si ho na jakékoliv 3D tiskárně.

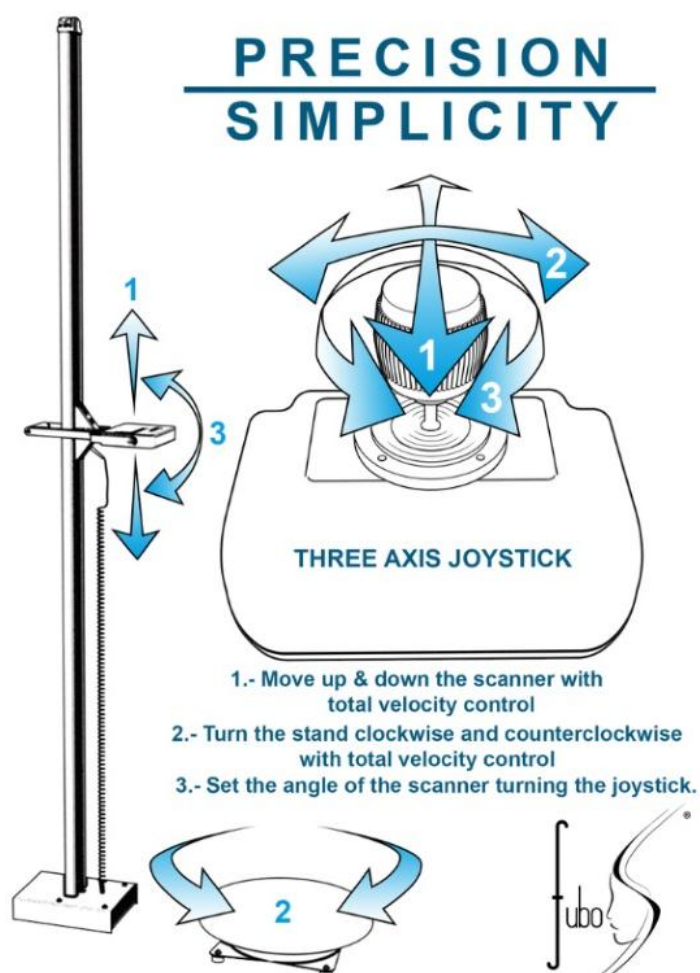
Cena tohoto zařízení se pohybuje okolo \$39 000 (819 000 Kč). V ceně je zahrnutý integrovaný software přímo od výrobce, roční záruka na zařízení a záruka na generaci 3000 3D modelů.



*Obr. 23 – Artec Shapify Booth [31]*

### 6.3 Fuboss Scanner

Fuboss (Full Body Scan System) je skener navržený tak, aby mohl být použit se skenery typu Sense nebo Kinect. Klíčovým je především to, aby byla jeho obsluha rychlá a velmi jednoduchá. Tento skener je tvořen hliníkovým profilem, který slouží k vedení nosné platformy, která zajišťuje uchycení skeneru. Tato platforma je tvořena vysoko momentovým servem, který slouží k natáčení skeneru. Díky tomu je skener schopný snímat problémové části těla (temeno hlavy, brada atd.). Dalším doplňkem tohoto produktu je otočný stolek. Všechny osy (otočný stůl, platforma, otáčení skeneru) jsou ovládány pomocí joysticku. Cena toho zařízení bez skeneru se pohybuje okolo 1500€ (39 000 Kč)



Obr. 24 – Fuboss Scanner [32]



## 7 Formát VRML

Tento formát byl navržen speciálně pro popis scén v trojrozměrném prostoru, není to však jediný formát, kterým lze popsat trojrozměrné předměty. Dalším známým formát je například X3D, který by se dal považovat za nástupce formátu VRML. Nicméně v dnešní době se nejvíce ze všech grafických formátů a deklarativních jazyků rozšířil právě jazyk VRML. Pod jeho zkratkou můžeme naléznout slova *Virtual Reality Modeling Language*. [15]

Tento jazyk je definován i normou ISO a je používán pro popis rozsáhlých scén v aplikacích virtuální reality, slouží také jako přenosový prostředek pro data popisující trojrozměrné modely. [15]

Prostorová tělesa jsou v tomto jazyce popsána jako seznam souřadnic bodů a ploch specifikovanými indexy svých bodů. Jedná se o relativně úsporný způsob zápisu v porovnání s jinými jazyky. Pro základní geometrická tělesa, mezi něž patří krychle, koule, kužel apod., jsou definována klíčová slova. Ta reprezentují uzly modelu, takže je není nutné rozkládat na trojúhelníky, což by bylo zbytečně komplikované a také by to zvětšovalo velikost souboru. [15]



```
#VRML V2.0 utf8

#Example VRML 2.0 file for teaching basic concepts of
#color and 3D primitive shapes.
#Created by Theresa-Marie Rhyne

# A Cylinder
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {
      diffuseColor 0.75 0.5 1.0
      specularColor 0.7 0.7 0.8
      shininess 0.1
    }
  }
  geometry Cylinder {
    height 0.2
    radius 3.
  }
}

# A Sphere
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {
      diffuseColor 0.2 0.5 0.75
      transparency 0.0
    }
  }
  geometry Sphere {
    radius 1.0
  }
}
```

Obr. 25 – Příklad modelu ve formátu VRML

V tomto formátu je celá trojrozměrná scéna popsána pomocí objektů, které jsou hierarchicky seřazeny ve stromové struktuře. Je prověřeno, že tato stromová struktura je pro popis 2D a 3D scén optimální, neboť je možné jednoduše manipulovat s jednotlivými objekty nebo i s celými skupinami objektů. Představme si například jednoduchý model motocyklu. Tento model se bude skládat ze tří částí, dvě kola a rám s kryty. Někdy bude výhodné uvažovat o tomto motocyklu jako o jednom celku, který není dělitelný (zatačení, crashtest apod.), ovšem můžou nastat i chvíle kdy potřebujeme manipulovat s jednotlivými koly zvlášť. [15]

Soubory typu VRML používají koncovku **.wrl** (po komprimaci **.wgz**). Jedná se o textové soubory, čili je velmi jednoduchá následná úprava v jakémkoliv textovém editoru. Je možné spojit více souborů dohromady, posílat je přes různé filtry atd. Exportování do formátu VRML je velmi jednoduché, proto se z něj stává prostředek pro komunikaci mezi různými 3D editory, prohlížeči 3D modelů a renderovacími programy. [15]

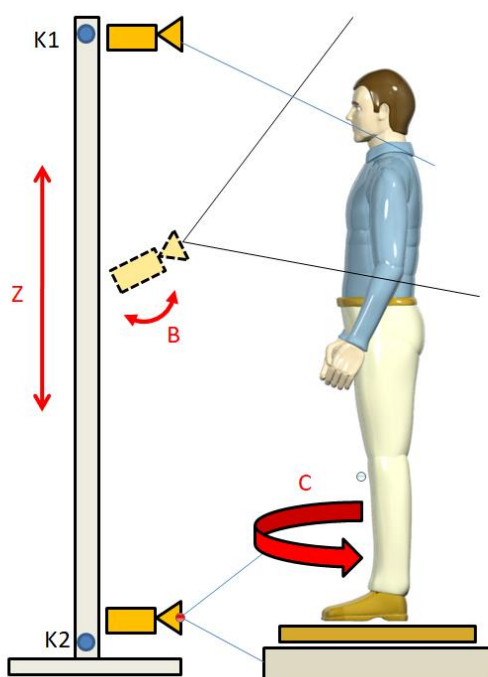
V nových verzích tohoto formátu (VRML 2.0) je dokonce možné specifikovat animace a programovat reakce na různé události. I když se může jevit jako běžný souborovým formátem, stává se z něj celá platforma pro virtuální realitu [15]

## 8 Základní koncepce návrhu

Hlavním předmětem této práce je návrh zařízení, které bude automaticky skenovat osobu či objekt. Katedra výrobních systémů a automatizace (dále KSA), na jejíž požadavek tato práce vznikla, se věnuje z velké části technologii rapid prototyping, která je velmi úzce spjata s technologií skenování. Na katedře bohužel žádné zařízení, které by umožňovalo skenování lidské postavy lidskou postavou, není, a proto byl vznesen požadavek takové zařízení navrhnout. Z výsledného zařízení by těžila nejen KSA, ale nabízí se i spolupráce s Fakultou textilní, která by mohla skener použít pro své účely v návrhářství.

Z předchozích kapitol o profesionálních skenerech je patrné, že ceny profesionálních skenovacích zařízení mohou dosahovat až několika stovek tisíc korun. Většina těchto skenerů navíc zabírá značnou plochu a přesun těchto zařízení může být časově velmi náročný. Proto bych rád navrhnul takové zařízení, které bude cenově přijatelné a dostatečně mobilní. Podle mých průzkumů bych měl být schopný zařízení sestavit a jeho celková cena by neměla přesahovat částku 25 000 Kč.

Inspirací pro můj návrh se stala konstrukce skeneru Fuboss. Stejně jako Fuboss volím koncepci, ve které se skenovaný objekt otáčí a skener se posouvá pouze ve směru osy Z (vertikální osa). Skenovaný objekt se bude otáčet na otočném stolečku, který bude separovaný od hlavního rámu pohyblivé osy skeneru. Celkem zde tedy budou tři pohyblivé osy.





Skener bude upevněn na pohyblivé platformě, která jím bude polohovat ve vertikální ose. Na obr. 26 je to osa Z. Na začátku skenovacího procesu platforma najede do referenční polohy, tato poloha bude realizována koncovým spínačem K1, ve které začne celý skenovací proces. Tento proces bude ukončen v momentě, kdy se platforma dostane do koncového snímače K2. Jako koncový spínač jsem se rozhodl použít mikrospínač MSW-0

Rotace B umožňuje natáčení skeneru. Tak jako u vertikální osy i zde je třeba před zahájením skenování referencovat polohu. Referencování bude realizováno pomocí indukčního snímače IP S-8. Natáčení skeneru umožní lépe naskenovat místa, která by byla v negativu, a nedošlo by k jejich naskenování. Jedná se zejména o místa v okolí brady a temene hlavy. Rotace C má za úkol otáčet skenovaným objektem tak, aby mohl být skenerem naskenován ze všech svých stran a výsledný sken byl kompletní.



*Obr. 27 – Vlevo snímač IP S-8 , vpravo koncový snímač MSW-0*

## 9 Volba skeneru

### 9.1 Kinect

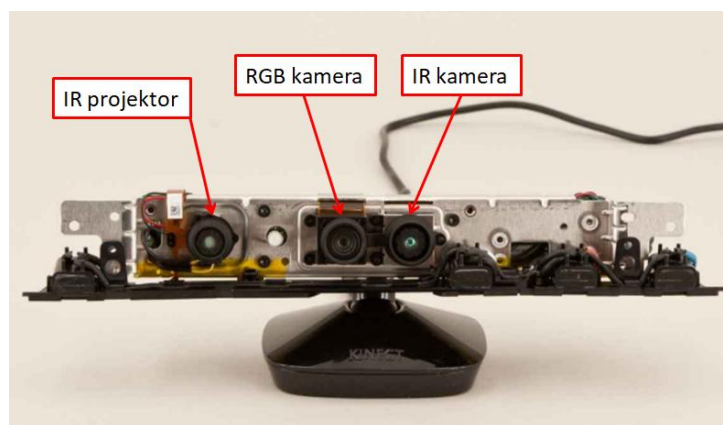
Prvotní volbou bylo použití skeneru Kinect. Jedná se o skener, který se prodával jako doplněk k herní konzoli Xbox. Tento skener vyvinula firma Microsoft za účelem přinést hráčům nový typ ovládače. Tento nový systém je používán ke skenování těla hráče a přenášení jeho pohybů přímo do prostředí hry. Tělo je snímáno kamerou a hloubkovým senzorem Kinectu a zpracováno do výsledných souřadnic (prostorových) klíčových bodů na těle hráče. Po nějaké době Microsoft uvedl i verzi Kinectu pro Windows, ke které poskytl i vlastní SDK (software development kit). Tato verze byla totožná s předchozími verzemi Kinectu, rozšířena byla jen o redukce, které umožňovaly propojení Kinectu s PC. Kinect je možné použít nejen k ovládání her, ale také i k 3D skenování.



*Obr. 28 – Kinect*

Skener je v podstatě IR (infra červeným) projektorem, který promítá mřížku teček v IR spektru, která je snímána IR CMOS kamerou citlivou pouze na IR pásma. Dále je součástí RGB kamera, která je schopna vytvořit barevnou mapu.

Kinect určuje polohu skenovaného objektu pomocí principu triangulace. Jak bylo řečeno, IR projektor promítá matici teček. Vzdálenost a poloha každé této tečky, která leží v referenční rovině ke skeneru, je přesně definovaná. V případě posunutí objektu blíže nebo dále od skeneru dochází ke změně polohy jednotlivých teček vůči referenční rovině. Na základě této informace jsme následně schopni určit změnu polohy vůči skeneru a zjistit tak souřadnice tečky v prostoru.



*Obr. 29 – Kamery Kinectu [16]*

Cena Kinectu se pohybuje okolo 2500 Kč, což je v porovnání s ostatními zařízeními velmi dobrá cena. Nicméně je třeba říct, že Microsoft končí s podporou pro toto zařízení, čili aktualizace a podpora do budoucna nebude dostupná. KSA vlastní Kinect verze 2. Tento skener byl vypůjčen a bylo testováno zapojení a komunikace s PC. Zprovoznění bylo velice náročné, museli se stahovat ovladače, které umožnily propojení na novějších verzích Windows 10. Dále bylo nutné stáhnout software třetí strany, jednalo se pouze o trial verzi. Bohužel se nepodařilo propojit Kinect a software dohromady. Jisté internetové zdroje uvádí, že Kinect s těmito freeware softwary komunikuje velmi neochotně. Na základě tohoto ozkoušení a faktu, že profesionální program pro skenování stojí další 3000 Kč jsme se rozhodli zvolit jiný skener.



*Obr. 30 – Projekce teček v IR spektru [17]*

## 9.2 Sense 3D scanner

Tento skener vyrábí společnost 3D systems. Jedná se o ruční skener, který byl přímo navržen pro skenování osob a objektů. Skener používá k určení vzdálenosti projekci strukturovaného světla. Toto strukturované světlo se však nalézá v IR spektru, čili není okem viditelné. Sense obsahuje, podobně jako Kinect IR projektor, IR snímač a kameru, která snímá barevnou mapu.



Obr. 31 – Sense 3D scanner [18]

Cena tohoto skeneru se pohybuje okolo 10 000 Kč, což je po přičtení ceny softwaru, potřebného pro správnou funkci, k cenně Kinectu skoro dvojnásobek. Nutné je zmínit, že výrobce dodává spolu se skenerem také vlastní software. Po jeho instalaci nainstaluje veškeré drivery, které jsou potřebné ke komunikaci mezi skenerem a PC.



Obr. 32 – Rozhraní softwaru pro skener Sense

Uživateli stačí jenom zapojit skener pomocí USB 3.0 do počítače, spustit program a skenovat. Prostředí softwaru je velmi intuitivní a nabízí uživateli základní operace jako korekci barev, oříznutí a trimování. Výsledné skeny lze ukládat ve formátu VRML, STL, OBJ a PLY. Skener je možno zapojit i do tabletu. Na základě těchto poznatků, výsledku z kapitoly 9.3 srovnání skenu a faktu, že tento skener je daleko více uživatelsky příjemný, jsem se rozhodl pro volbu tohoto skeneru.

Po obdržení skeneru bylo provedeno několik skenů. Bylo zjištěno, že skener je velmi citlivý na okolní osvětlení. V případě, že se světelné podmínky během skenování změnily, došlo i ke změnám na barevné mapě.



*Obr. 33 – Necelistvá barevná mapa*

Této situaci bychom se měli vyhnout, pokud použijeme umělé osvětlení a zaručíme tím neměnné světelné podmínky. Jako umělé osvětlení použijeme LED světlo používané pro fotoaparát. Intenzita toho světla se dá libovolně měnit, díky tomu můžeme dosáhnout ideálních světelných podmínek.



*Obr. 34 – LED světlo*

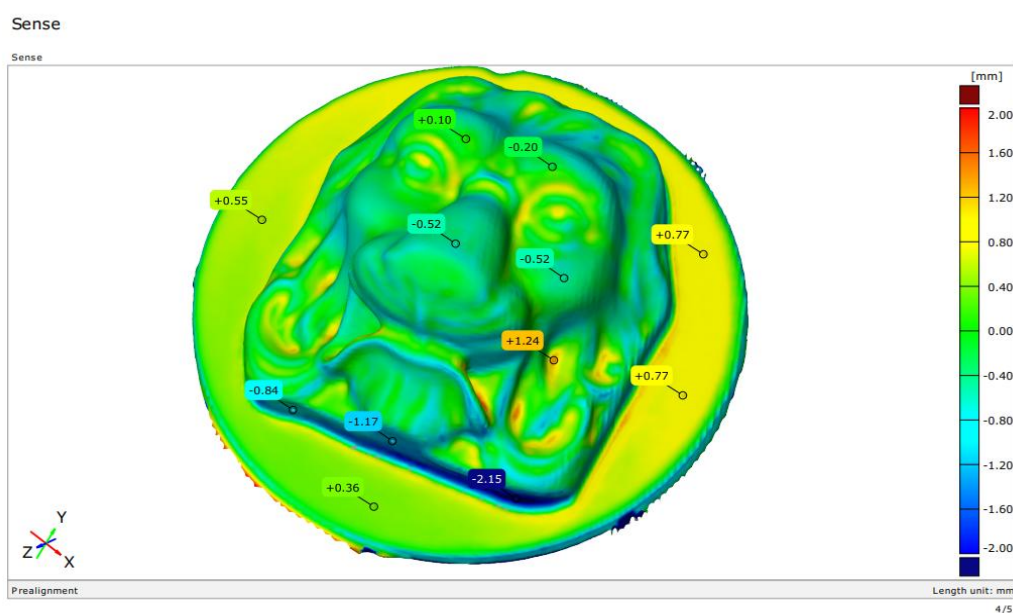


### 9.3 Srovnání skenů

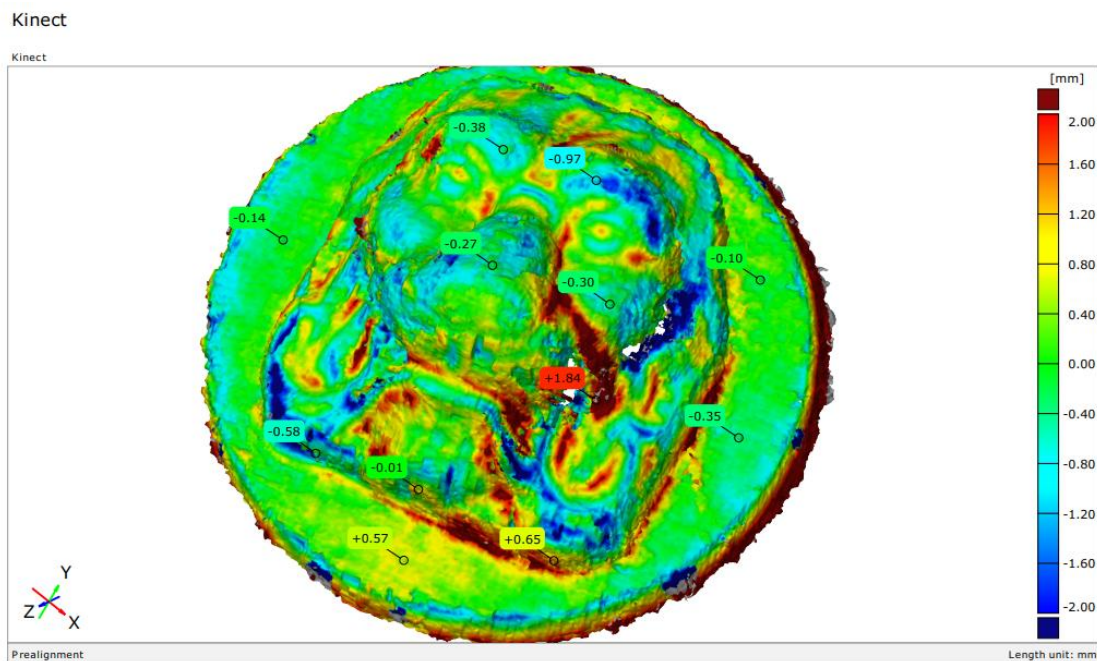
Celkem budu porovnávat tři skeny ze třech skenovacích zařízení. Nejvýkonnější z těchto zařízení bude skener ATOS Triple Scan jehož přesnost se pohybuje až na setiny milimetru. Proto jsem se rozhodl brát jej jako etalon, se kterým budu srovnávat skener Kinect a skener Sense. Světelné podmínky při skenování nebyly nejlepší a veškeré měření bylo provedeno v rukou, čili lze předpokládat horší kvalitu výsledného skenu, v porovnání se skeny, kterých jsou schopny běžně dosáhnout.



Obr. 35 – Sken Atos Triple Scan



Obr. 36 – Mapa odchylek Sense

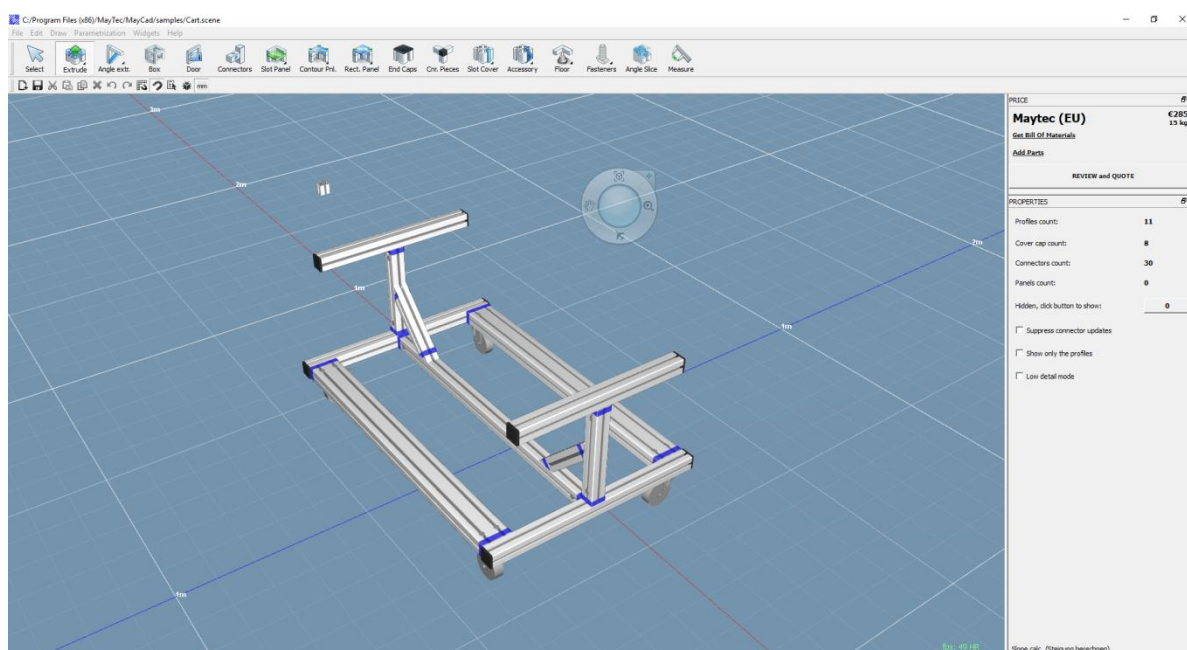


*Obr. 37 – Mapa odchylek Kinect*

Již na první pohled jsou patrné rozdíly v kvalitě skenu. Sense působí mnohem kvalitnějším dojmem, jeho povrch je hladký a na skener, který je o několik set stovek tisíc levnější než Atos Triple Scan, si zanechal i docela vysokou úroveň detailu. Oproti tomu skener Kinect nemá texturu zdaleka tak vyhlazenou jako Sense. Tento problém je však řešitelný pomocí postprocesingu skenu. Nicméně Sense toto vše udělá za nás, tím ušetří náš čas a svou kvalitou plně dostačuje naší potřebě.

## 10 Konstrukce rámu

Rám jsem se rozhodnul zkonstruovat pomocí hliníkových profilů. Tyto profily umožňují navrhnout tuhou, ale zároveň lehkou konstrukci. Výrobce dodávají profilované tyče různých tvarů a rozměrů. Tyto profily jdou velmi snadno spojovat a kombinovat různá provedení. Proto se velmi často používají pro stavbu malých linek, jednoúčelových strojů, ale i hobby zařízení. Celý rám bude navržen pomocí softwaru May-CAD, který dodává firma May-TEC. Tato společnost se zaměřuje na výrobu hliníkových profilů a jejich software značně ulehčuje práci konstruktérovi. Veškeré výtvary lze potom převést do step modelu či jiných formátu. Software počítá i přibližnou cenu konstrukce, což se velmi hodí do předběžné cenové kalkulace.

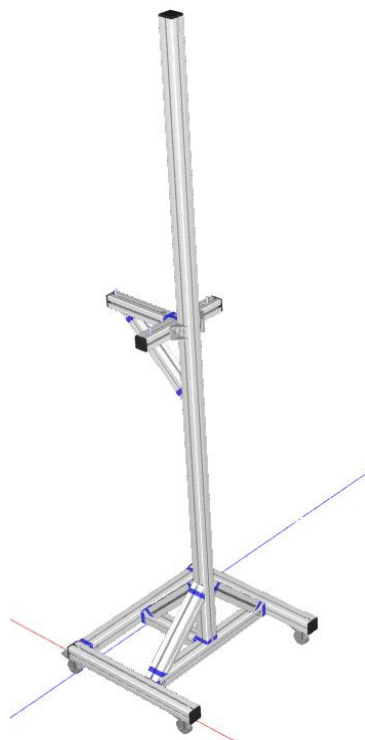


Obr. 38 – Rozhraní softwaru May-CAD

### 10.1 Rám

Jak jsem zmiňl, inspiroval jsem se konstrukcí od firmy Fuboss. Rám zařízení se skládá ze dvou částí, základny a stojny. Základna slouží jako nosný prvek pro stojnu a jsou k ní přišroubována čtyři pojízdná kolečka, která zaručí manipulovatelnost skeneru. Stojna je ze stran podepřena podpěrami, které mají za úkol zvýšit tuhost a stabilitu celého systému. Na stojnu jsou poté přišroubovány dvě hliníkové desky, které slouží k upevnění vedení a trapézového šroubu. Uprostřed výšky stojny je poté z hliníkových profilů vytvořen „stoleček“, který bude sloužit pro odkládání notebooku, případně jiných zařízení.

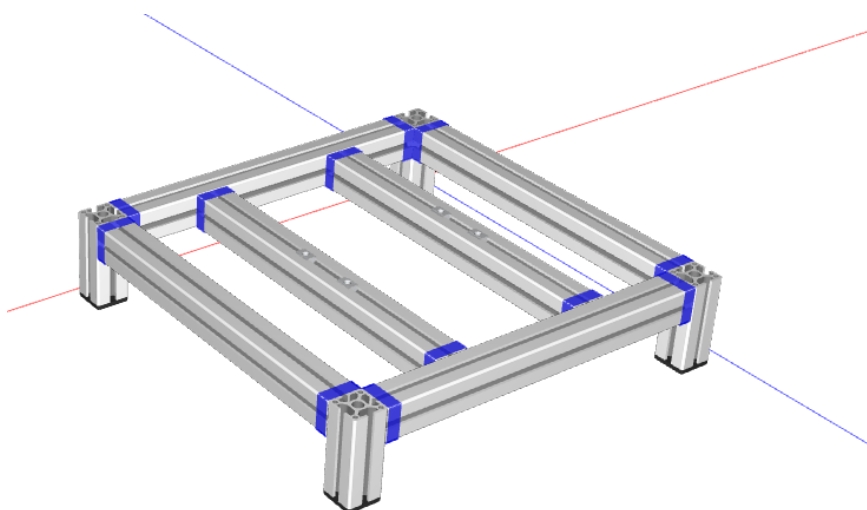




*Obr. 39 – Konstrukce rámu*

## 10.2 Rám stolku

Rám je velmi jednoduchý. Slouží jako nosná konstrukce pro otočný stůl. K tomu-  
to stolku bude přišroubován držák krokového motoru. Tento krokový motor bude slou-  
žit k otáčení stolu. Na vrch této konstrukce bude poté přidělána deska, která bude  
spojena s ložiskem. Detailní pohledy konstrukce budou zobrazeny v závěru práce.



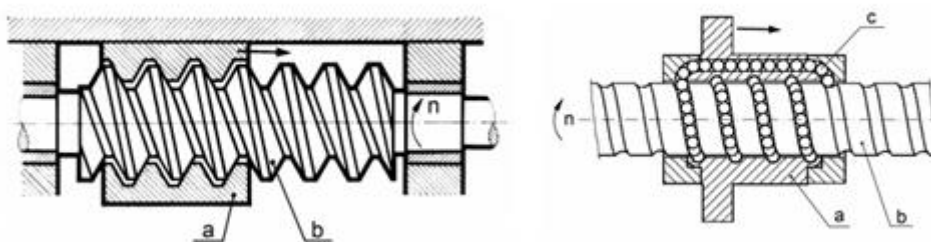
*Obr. 40 – Konstrukce rámu stolku*

## 11 Posuvný šroub

V našem případě se nabízí celkem tři možnosti, jak uskutečnit pohyb platformy se skenerem, s pomocí lineárního vedení, kuličkového šroubu či trapézového šroubu. Vzhledem k tomu, že cena lineárního vedení je značná a může sahat až do desítek tisíc korun, nebudeme o ní našem návrhu vůbec uvažovat.

### 11.1 Kuličkový šroub

Kuličkový šroub má za úkol převádět rotační pohyb na lineární. Skládá se ze šroubu a matice, které nejsou v přímém kontaktu, ale pohyb je přenášén přes kuličky, které obíhají v šroubové dráze. Díky tomu se tento typ šroubu vyznačuje vysokou účinností, která se pohybuje v rozmezí 80-90%. To je způsobeno tím, že kuličky nahrazují standardní tření mezi dvěma plochami valivým třením. [19]



Obr. 41 – Porovnání trapézového (vlevo) kuličkového (vpravo) šroubu

Otáčením šroubu se kuličky odvalují a postupují šroubovou dráhou a pohybují matricí. V momentě kdy se dostanou na konec, naráží do deflektoru, který je nasměruje do převáděcího kanálu a kuličky se vrací zpět na začátek. Značnou nevýhodou kuličkového šroubu je, že nemá schopnost samosvornosti. Tento fakt musíme brát v potaz v každém návrhu, u kterého zvažujeme aplikaci tohoto typu šroubu.



Obr. 42 – Řez kuličkovým šroubem [24]

### 11.1.1 Trapézový šroub

Oproti kuličkovým šroubům se trapézové šrouby používají v případech, kde nejsou kladené vysoké požadavky na přesnost a rychlost posuvu. Tyto šrouby si oblíbili zejména hobby stavitelé malých CNC strojů, především 3D tiskáren, a to díky velmi nízké ceně. Nevýhodou těchto šroubů je malá účinnost, která se pohybuje mezi 40-70%. Tato účinnost je závislá na úhlu stoupání šroubovice a součiniteli tření mezi maticí a šroubem. Šroub bývá nejčastěji z nerezové oceli, kdežto materiál matice je velmi rozmanitý. Matice mohou být vyrobeny z plastu nejčastěji se jedná o materiál ZX-100A, který se vykazuje vynikajícími kluznými vlastnostmi při provozu za sucha

### 11.1.2 Volba šroubu

Pro náš skener byl zvolen trapézový šroub z oceli 12 020 s plastovou maticí. Plastové matice poskytují dostatečnou přesnost a hlavně velmi jednoduché a bezúdržbové použití. Samozřejmě se nabízí možnost použití kuličkového šroubu, který disponuje velmi dobrými vodícími vlastnostmi, jako je přesnost a vysoká účinnost. Nicméně cena kuličkového šroubu je zhruba trojnásobná. Proto jsem zvolil trapézový šroub, jehož parametry jsou pro náš skener plně dostačující.

#### 11.1.2.1 Výpočet šroubu

Při návrhu šroubu se vychází ze zatěžujících sil působících na šroub. Hmotnost pohybující platformy se skládá z hmotnosti skeneru, příruby a doplňků (šrouby, motor pro rotaci skeneru apod.). Hmotnost skeneru byla zvolena 750g to je přibližná váha zrcadlového fotoaparátu. Skener Sense je podstatně lehčí, ale musíme brát v úvahu, že se naše zařízení plánuje používat i pro fotogrammetrii, proto je potřeba počítat s nejvyšší možnou váhou. Zbylé hmotnosti jsou dány konstrukcí.

$$m = m_{skeneru} + m_{příruba} + m_{doplňků} = 0,75 + 1,4 + 1,5 = 3,65 \text{ kg} \approx 3,7 \text{ kg}$$

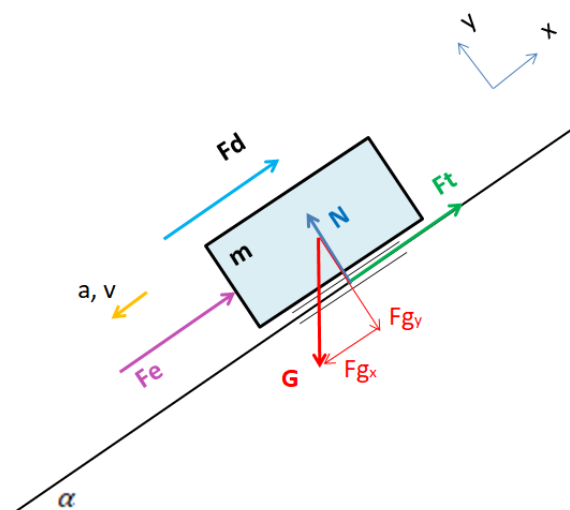
Celková hmotnost posouvané hmoty je 3,7 kg. Tuto hmotnost budeme zohledňovat v našich výpočtech při návrhu pohonu a dimenzování šroubu

Tabulka 1

Zadané parametry			
Hmotnost	<b>m</b>	3,7	kg
Zdvih	<b>x<sub>max</sub></b>	2000	mm
Součinitel tření v šroubu	<b>f</b>	0,15	
Posuvná rychlost	<b>vp</b>	1,3	m/min
Naklonění šroubu	<b>α</b>	90	°
Čas zrychlení šroubu	<b>t</b>	0,2	s
Tíhové zrychlení	<b>g</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>
Modul pružnosti	<b>E</b>	210000	Mpa
Bezpečnost	<b>k</b>	3	
Typ uložení	<b>f<sub>u</sub></b>	2	
Koeficient uložení šroubu	<b>λ</b>	3,927	

$\lambda = 1,875$	$f_u = 0,25$	pevný konec - volný konec	
$\lambda = 3,142$	$f_u = 1,0$	oba konce podepřené	
$\lambda = 3,927$	$f_u = 2,0$	pevný konec - podepřený konec	
$\lambda = 4,730$	$f_u = 4,0$	pevný konec - pevný konec	

### Síly působící na šroub



Obr. 43 – Síly působící na šroub

### Zatěžující síla

$$F_{zat} = F_e + F_T + |F_{gx}| + F_d$$

Externí síla zatěžující šroub bude nulová, jelikož na portál nepůsobí žádné vnější síly

$$F_e = 0$$

Gravitační složka síly

$$G = m \cdot g = 2 \cdot 9,81 = 36,3 \text{ N}$$

$$F_g = G \cdot \sin \alpha = 36,3 \cdot \sin 90 = 36,3 \text{ N}$$

Normálová síla

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

Třecí síla

$$F_t = N \cdot f = G \cdot \cos \alpha \cdot f = 36,3 \cdot \cos 90 \cdot 0,15 = 0 \text{ N}$$

Dynamický síla

$$F_d = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = 3,7 \cdot \frac{1,3}{60 \cdot 0,2} = 0,4 \text{ N}$$

$$F_{zat} = F_e + F_T + |F_{gx}| + F_d = 0 + 0 + 36,3 + 0,4 \approx 36,7 \text{ N}$$

Tato síla nesmí překročit dovolenou sílu při zatížení šroubu na vzpěr.

$$F_{zat} \leq \frac{f_u \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{x_{\max}^2 \cdot k}$$

I ... kvadratický modul průřezu  $I = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 [\text{mm}^4]$

k ... bezpečnost (k=1- 4)

Z této podmínky jsme schopni z kvadratického modulu průřezu určit minimální průměr šroubu

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot x_{\max}^2 \cdot k \cdot F_{zat}}{\pi^3 \cdot f_u \cdot E}} [\text{mm}]$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 2000^2 \cdot 3 \cdot 36,7}{\pi^3 \cdot 2 \cdot 210000}} = 6,82 \text{ mm}$$

Zvolil jsem šroub TR – 1608

Stoupání:  $s = 8 \text{ mm/ot}$  Průměr:  $d_n = 16 \text{ mm}$

Dále je třeba zkontrolovat to, abychom nepřesáhli kritické otáčky. Při jejich přesazení by mohlo nastat rozkmitání šroubu.

$$n_{krit} = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot \lambda^2}{2 \cdot \pi \cdot x_{max}^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}}$$

$\rho$  – hustota materiálu šroubu (7800 kg/m<sup>3</sup>)

Kvadratický modul průřezu

$$I = \frac{\pi \cdot 16^4}{64} = 3217 \text{ mm}^4$$

Plocha průřezu šroubu

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 201 \text{ mm}^2$$

Po dosazení dostaneme

$$n_{krit} = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 3.927^2}{2 \cdot \pi \cdot x_{max}^2} \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^5 \cdot 3217}{7800 \cdot 201}} = 764,2 \text{ ot/min}$$

Skutečné otáčky

$$n = \frac{vp}{s} = \frac{21,66}{8} = 2,7 \text{ ot/s} = 162 \text{ ot/min}$$

$n < n_{krit}$  ... .. tuto podmínku splňujeme a nehrozí rozkmitání šroubu

### 11.1.3 Uložení šroubu

Trapézový šroub je třeba uložit a přišroubovat k rámu. V dnešní době se již nevyplatí vyrábět si vlastní díly. Je sice výhodné, že si součást navrhne přesně podle našich potřeb, ale cena a možné problémy s výrobou nemohou konkurovat dílům kupovaným. Ty jsou odladěné a díky tomu, že se jich vyrábí velké množství, jsou i cenově lépe dostupné.

Rozhodl jsem se proto zvolit ložiskové jednotky řady EK od firmy SYK Sonyung Industry.



*Obr. 44 – Ložiskové domky EK a EF*

Výrobce těchto domků má na svých stránkách zveřejněné doporučené uložení. Bylo tedy třeba trapézový šroub obrobít a udělat na šroubu patřičná osazení, která korelují s požadavky výrobce. V našem případě má náš trapézový šroub délku 2 metry, bylo tedy nutné vybrat vhodný obráběcí stroj, na kterém bude možno takto dlouhý šroub obrobít. Bohužel na naší fakultě žádný takovýto stroj není a bylo nutné šroub obrobít v externí firmě.

## 12 Vedení

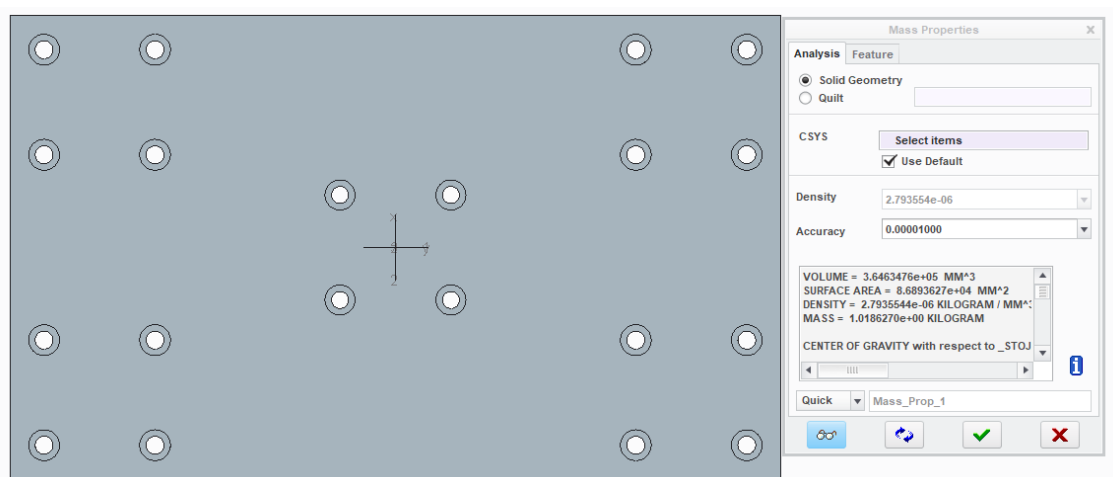
Vedení je realizováno pomocí dvou nepodepřených tyčí, které jsou uloženy na svých koncích ve svěrných držácích. Tyto přídatná vedení mají za úkol dodat systému stabilitu a tuhost. Na každé z těchto dvou tyčí se budou pohybovat dva lineární sety. Jedná se v podstatě o kuličkové pouzdro, které je zajištěno pomocí pojistného kroužku v domečku. K těmto domečkům je poté přišroubována platforma, která louží pro upevnění skeneru. Průměr tyče jsem zvolil 16 mm.



Obr. 45 – Zleva lineární set a držák vodících tyčí

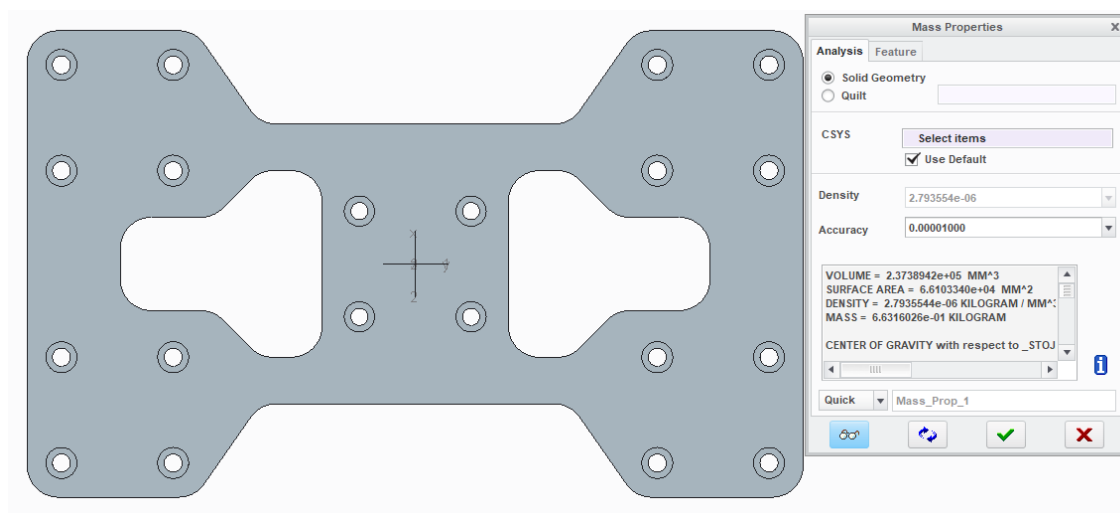
### 12.1 Platforma

Tato platforma slouží k upevnění součástí potřebných k naklápění, ke kterým se připevňuje skener. Tato platforma je spojena s domkem, pomocí zápusťných šroubů, který má v sobě matici trapézového šroubu a čtyřmi lineárními sety. Abychom minimalizovali zatížení krokového motoru, rozhodli jsme se součást vyrobít z hliníku a do součásti vyfrézovat odlehčovací otvory. Otvory a zvoleným tvarem jsme hmotnost redukovali až o 34%.



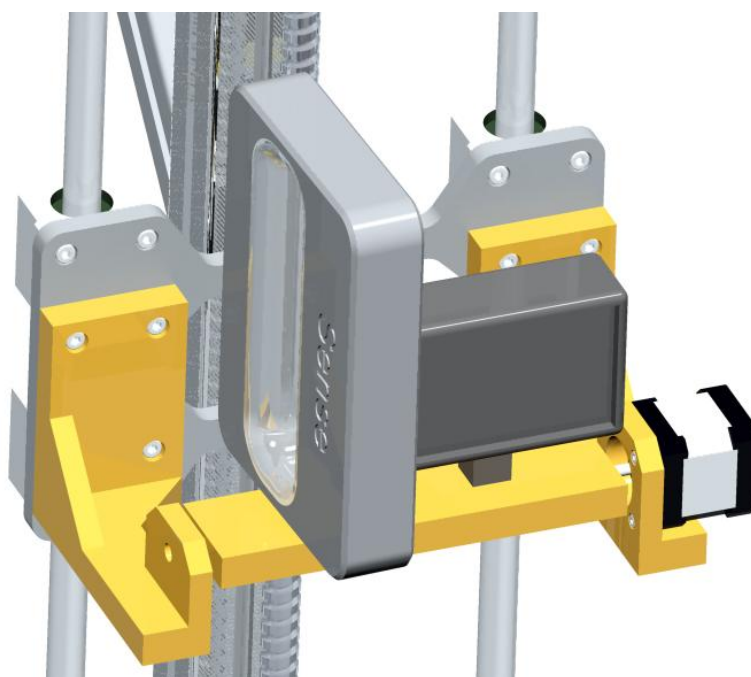
Obr. 46 – Neodlehčený díl





*Obr. 47 – Odlehčený díl*

K platformě budou přimontovány dva nosné prvky ve tvaru písmene L. Tyto prvky budou sloužit k naklápění skeneru. Naklápěcí deska bude zleva uložena v domečku, který v sobě bude mít plastovou vložku. Plastová vložka je nutná, neboť tyto dva prvky budou vytisknuty metodou FDM (Fused Deposit Modeling) a ta je známá tím, že vytisknutý povrch je značně zvrásněný, což má negativní vliv na koeficient tření. Zprava bude nasunuta na hřídel krokového motoru a zajištěna pojistným šroubem. Dále je nutné tuto naklápěcí desku referencovat. O to se postará indukční snímač, jehož pomocí budeme schopni zajistit vždy správnou počáteční polohu před samotným skenováním.



*Obr. 48 – Finální podoba platformy s upevněním skeneru*

## 13 Návrh pohonu

V mém návrhu jsem se rozhodl zvolit pohon pomocí krokového motoru. Důvodem bylo především jednoduché řízení a nízká cena.

### 13.1 Krokové motory

Krokový motor je velmi podobný synchronnímu motoru. Hlavní rozdíl mezi krokovým motorem a klasickým synchronním motorem je ve způsobu napájení. Synchronní stroj napájíme třemi fázemi pomocí střídavého proudu, kdežto krokový motor je napájen impulsy stejnosměrného proudu.

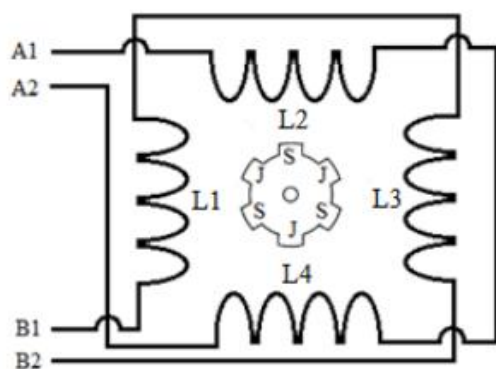
Tento typ motoru je charakteristický svým pohybem, který je realizovaný kroky, jež jsou výsledkem nespojitého pohybu rotoru, který můžeme snadno sledovat při nízkých otáčkách. Počet kroků se odvíjí od typu motoru a počtu pólových párů na rotoru. Vyžadujeme-li přesnější a hladší fungování motoru, lze kroky rozfázovat do mikrokroků. K funkci tohoto motoru je nutná řídicí jednotka neboli „driver“. Krokový motor převádí digitální impulsy, které přichází právě z driveru, na postupné otáčení hřídele motoru. Počet kroků je úměrný generovaným impulsům a počtu otáček. Rychlost otáčení je úměrná frekvenci vstupních impulsů. Tyto impulsy mohou být tvořeny jednoduše mechanickým spínačem, logickými obvody či mikroprocesorem. Výkonná jednotka driveru funguje jako „rozdělovač“, ve kterém je kde každý impuls následně převeden přímo do jednotlivých vinutí motoru. Obvykle jeden puls otáčí rotorem o jeden krok. [20] [21]

Vzhledem k principu tohoto motoru nedochází k mechanickému kontaktu mechanicko-elektrických částí. Jediné opotřebení, které vzniká, je opotřebení v ložiskách. Na základě tohoto faktu se krokový motor vyznačuje značnou mechanickou odolností a dlouhou dobou života, která je dána životností ložisek.

Nevýhodou těchto motorů je jev, kterému se říká ztráta kroku. Tento jev nastává při překročení mezního zatížení, další nevýhoda je spjatá s náchylností k mechanickému zakmitávání (vibrace), to může vyvodit nestabilitu při běhu tohoto motoru. Oběma těmito nevýhodám lze předejít, a to vhodnou volbou motoru a driveru s přihlédnutím k potřebným momentovým charakteristikám pohonného systému. Další značná nevýhoda je vidět na obr. 50, kde je možné z momentové charakteristiky vyčíst, že se vzrůstajícími otáčkami rapidně klesá krouticí moment. Na tuto skutečnost je třeba brát ohled při výběru momentu, kdy musíme kontrolovat, zda se stále nalézáme při provozních otáčkách pod křivkou charakteristiky [20]

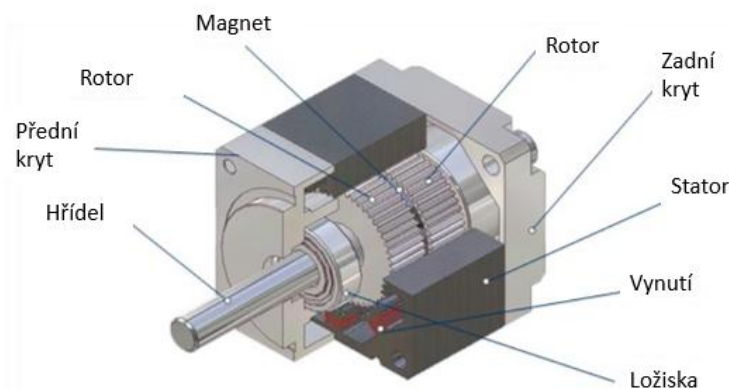
Jako většina elektrických motorů, tak se i krokový motor skládá ze dvou hlavních částí. Těmi jsou stator a rotor. Rotor je opatřen pólovými nástavci, jejichž typ se odvíjí od druhu krokového motoru. Můžeme se setkat s permanentními magnety nebo s magneticky měkkým kovem. Oproti tomu stator je tvořen vynutím (cívkami).

Obrázek níže zobrazuje rotor nacházející se uprostřed, spolu se šesti pólovými nástavci (zuby), ve kterých se pravidelně střídá severní a jižní pól. Rotor obklopuje stator se čtyřmi cívkami. Podle propojení jednotlivých cívek můžeme motor zařadit mezi bipolární řízení. Unipolární řízení je odlišné pouze ve způsobu zapojení cívek.



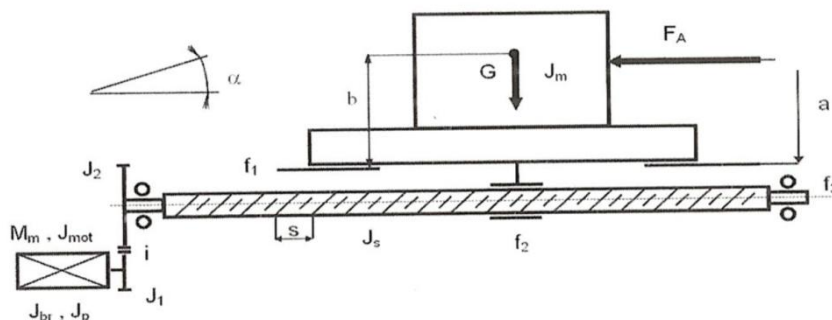
Obr. 49 – Znázornění jednotlivých cívek rotoru [33]

Krokový motor funguje tak, že přes pár cívek je veden proud vyvolávající indukci magnetického pole, v jehož důsledku se rotor pootočí do magneticky klidové polohy. Pro další pohyb je potřeba vést proud přes druhý pár cívek. Klidová poloha rotoru vyžaduje pevné ukotvení pomocí magnetického pole generovaného cívkami. Motor tedy musí být nepřetržitě napájen.



Obr. 50 – Řez krokovým motorem [33]

### 13.1.1 Výpočet potřebného momentu pro posuvnou osu



Obr. 51 – Kinematické uspořádání [22]

#### Statické hledisko

Z obr.27 lze určit ze statického hlediska (vyvození posuvové – technologické síly) potřebný moment motoru dle:

$$M_m = \frac{F_a \cdot s}{2 \cdot i \cdot n_p \cdot \eta_L^j} + M_{zshrm}$$

$M_{zshrm}$ ...statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru

$F_a$ .....axiální síla (  $F_a=0$  N)

$i$  .....převodový poměr (převod na přímo  $i=1$ )

V našem případě je  $F_a=0$  tím pádem  $M_m=M_{zshrm}$

#### Celková účinnost

$$\eta_c = \eta_s \cdot \eta_v \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p$$

$\eta_s$  ... .. účinnost trapézového šroubu

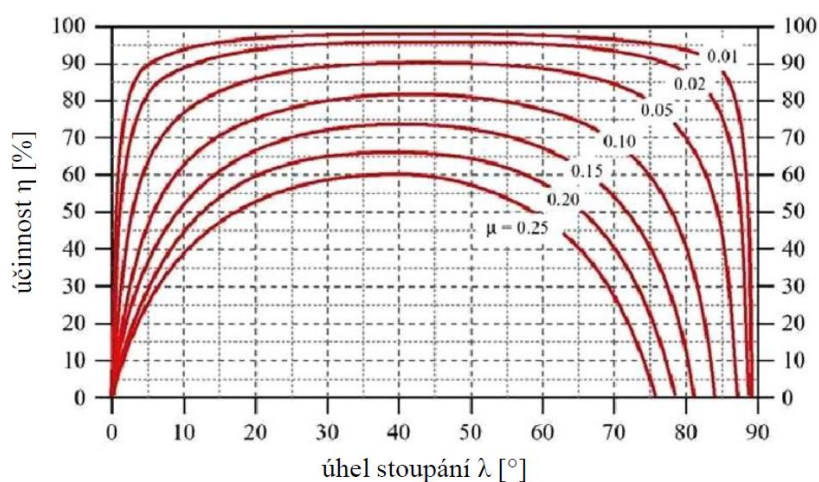
$\eta_v$  ... .. účinnost vedení; pro valivé vedení  $\eta_v = 0,98$

$\eta_L^j$  ... .. účinnost oboustranného uložení  $\eta_L^j = 0,92$

$\eta_p$  ... .. účinnost převodu  $\eta_p = 1$  (přímý pohon)

Pro zjištění účinnosti trapézového šroubu musíme spočítat úhel stoupání trapézového šroubu, poté odečteme z následujícího obrázku účinnost.

Součinitel tření v závitě uvažujeme  $f_z = 0,15$



Obr. 52 – Závislost úhlu stoupání na účinnosti [30]

$$\tan \lambda = \frac{s}{\pi \cdot d_n} \rightarrow \lambda = \tan^{-1} \frac{8}{\pi \cdot 16} = 9^\circ \quad \text{pro tyto parametry } \eta_s = 0,4$$

$$\eta_c = 0,4 \cdot 0,98 \cdot 0,92 \cdot 1 = 0,36$$

### **Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru**

Tento moment se skládá z několika složek

#### Moment tíhové složky

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c} = \frac{3,7 \cdot 9,81 \cdot \sin(9^\circ) \cdot \frac{8}{1000}}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,36} = 0,128 \text{ Nm}$$

#### Moment zátěže od třecích sil posouvavých hmot

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L \cdot \eta_p} \rightarrow \cos 90 = 0 \rightarrow M_g = 0 \text{ Nm}$$

$f_1 \dots \dots \dots$  součinitel tření ve vodících plochách  $f_1 = 0,005$

#### Moment zátěže od třecích sil v ložisku

$$M_L = \frac{m \cdot g \cdot d_L \cdot f_3}{i \cdot \eta_p \cdot 2} = \frac{3,7 \cdot 9,81 \cdot \frac{12}{1000} \cdot 0,003}{1 \cdot 1 \cdot 2} = 0,000654 \text{ Nm}$$

$f_3 \dots \dots \dots$  ekvival. součinitel tření redukováný na poloměr čepu  $f_3 = 0,003$

### Moment zátěže od vyosení axiální síly

Vlivem zátěže může vzniknout klopný moment, díky němuž bude ve vedení vznikat třecí síla. Podmínka pro vznik této síly je:

$$m \cdot g \leq \frac{6 \cdot F_a \cdot a}{L}$$

$L$  ... .. délka stolu ; dáno konstrukcí  $L = 150 \text{ mm}$

V našem případě je za axiální sílu dosazena tíhová síla

$$m \cdot g \leq \frac{6 \cdot m \cdot g \cdot b}{L}$$

Danou podmínku splňujeme, proto je nutné tento moment vypočítat.

Třecí síla vznikající v kluzném vedení (pro  $\alpha = 90^\circ$ )

$$F_{TS} = \frac{3 \cdot (m \cdot g \cdot b + F_A \cdot a) \cdot f_1}{L} = \frac{3 \cdot (3,7 \cdot 9,81 \cdot \frac{150}{1000} + 0) \cdot 0,005}{\frac{150}{1000}} = 0,545 \text{ N}$$

Moment zátěže od vyosení gravitační síly (pro  $\alpha = 90^\circ$ )

$$M_F = \frac{F_{TS} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p} = \frac{0,545 \cdot \frac{8}{1000}}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 1} = 0,00189 \text{ Nm}$$

### Celkový statický moment zátěže

$$M_{zshmr} = M_{GT} + M_G + M_L + M_F = 0,128 + 0 + 0,00065 + 0,00189 = 0,13 \text{ Nm}$$

## Dynamické hledisko

Momentová rovnice, která určuje potřebnou velikost momentu motoru pro konstantní moment setrvačnosti  $J_{rhm}$  a úhlové zrychlení motoru má tvar:

$$M_d = J_{red} \cdot \varepsilon_m$$

$J_{rhm}$  ... .. *redukovaný moment setrvačnosti*

$\varepsilon_m$  ... .. *úhlové zrychlení motoru*

Redukovaný moment setrvačnosti

Moment setrvačnosti charakterizuje rozložení hmotnosti v prostoru. Při rozbíhání pohonu je nutné, aby pohon urychlil právě všechny tyto hmoty [22]

Pro výpočet redukovaného momentu setrvačnosti vyjdeme z rovnosti kinetických energií.

$$\frac{1}{2} J_{red} \cdot \omega_0^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_p^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{šroubu} \cdot \omega_0^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{motoru} \cdot \omega_0^2$$

Po vykrácení a úpravě vzorce dostaneme tvar

$$J_{red} = m \cdot \frac{v_p^2}{\omega_0^2} + J_{šroubu} + J_{motoru}$$

$\omega_0$  ... .. *úhlová rychlost motoru*

Moment setrvačnosti šroubu se vypočítá dle vztahu:

$$J_{šroubu} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot A \cdot L \cdot \rho \cdot r^2 = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot L}{32} \cdot \rho$$

$$J_{šroubu} = \frac{\pi \cdot 0,016^4 \cdot 2}{32} 7800 = 0,0001 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti motoru:

Předpokládaný motor 42HS03 (NEMA 17)

$$J_{motoru} = 0,0000082 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### Úhlová rychlost šroubu

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot \frac{v_p}{s}$$

### *Stoupání šroubu*

$$s = 8 \frac{mm}{ot}$$

### *Posuvná rychlost*

$$v_p = 1,3 \frac{m}{min} = 21,66 \frac{mm}{s}$$

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{21,66}{8} = 17,01 \frac{rad}{s}$$

Výsledná velikost momentu setrvačnosti tedy bude:

$$J_{red} = 3,7 \cdot \frac{0,02166^2}{17,01^2} + 0,0001 + 0,0000082 = 0,000114 \text{ kg} \cdot m^2$$

### Úhlové zrychlení motoru

Vztah pro výpočet lineárního zrychlení stolu a úhlovým zrychlením šroubu je dán:

$$\varepsilon_s = \frac{\omega_0}{t} = \frac{17,01}{0,2} = 85,05 \frac{rad}{s^2}$$

Pro náš případ kde nemáme žádný převod mezi trapézovým šroubem a hřídelí krokového motoru, se úhlové zrychlení motoru rovná úhlovému zrychlení šroubu.

$$\varepsilon_m = \varepsilon_s$$

### Výsledný dynamický moment

$$M_d = J_{red} \cdot \varepsilon_m = 0,000114 \cdot 85,05 = 0,00971 \text{ N} \cdot m$$

Výsledný zatěžující moment je pak součtem statického momentu a dynamického momentu

$$M_c = M_{zshmr} + M_d = 0,13016 + 0,00971 = 0,1399 \text{ N} \cdot m$$



Výpočet byl proveden pomocí literatury [22]

Na základě těchto hodnot jsem vybral bipolární krokový motor 42HS03. Po konzultaci s odborníkem bude tento motor zvolen i pro rotaci skeneru.

Charakteristiky motoru

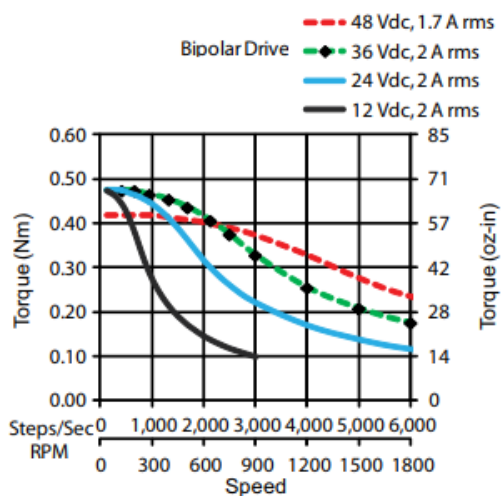


Standard shaft motor shown.

Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push
	65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Obr. 53 – 42HS03 [23]

Momentová charakteristika motoru



Obr. 54 – Momentová charakteristika 42HS03 [23]

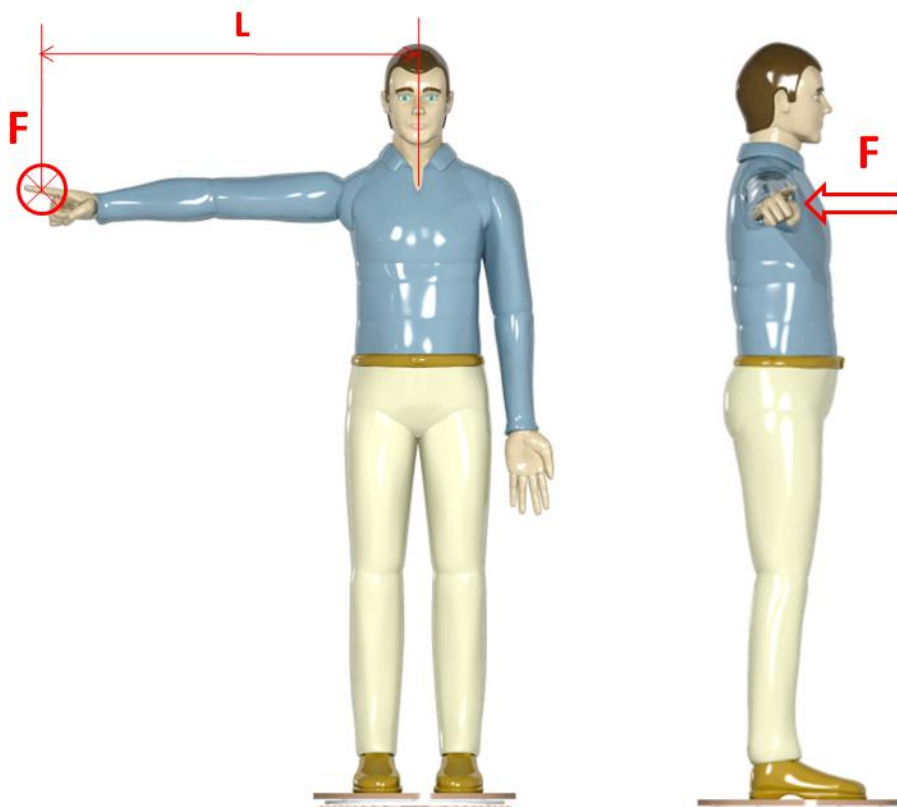
Z krokového diagramu je vidět že s rostoucími otáčkami rapidně klesá krouticí moment. Nicméně v našem případě jsou otáčky malé a tato změna nás nijak

$$n = \frac{vp}{s} = \frac{21,66}{8} = 2,7 \text{ ot/s} = 162 \text{ ot/min}$$

### 13.1.2 Výpočet potřebného momentu pro rotující osu

Výpočet momentu analyticky by byl velmi složitý, jelikož jsme použily ložisko, které bylo objednáno z internetového obchodu Ebay a dodavatel neudává žádné specifikace jako součinitel tření v ložisku apod. pouze základní rozměry a nosnost. Proto jsem se rozhodl zjistit moment pro rozpohybování této osy experimentem.

Měření bylo provedeno tak, že se na ložisko připevnila deska. Na tuto desku se postavil člověk, jehož hmotnost činila 90 kg a měřil 182 cm. Byla změřena vzdálenost od středu hrudního koše, která by měla být shodná s osou otáčení. Poté za použití siloměru DFIS-10 došlo k měření peaku (vrcholu) síly která je potřebná pro rozpohybování.



Obr. 55 – Místo měření síly

Měřené hodnoty			
Vzdálenost od osy otáčení	L	920	mm
Naměřená síla	F	3,45	N

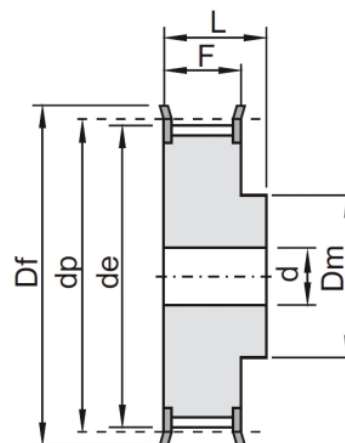
Nyní je třeba přepočítat naměřené hodnoty na krouticí moment. Tento moment budeme ještě násobit koeficientem  $k=1,5$  z důvodu momentové rezervy.

$$Mk_2 = F \cdot L \cdot k = 3,45 \cdot 0,92 \cdot 1,5 = 4,76 \text{ Nm}$$

Dále mezi motorem a hnáným hřídelem bude řemenový převod. Je tedy nutné přepočítat tento moment na hřídel krokového motoru.

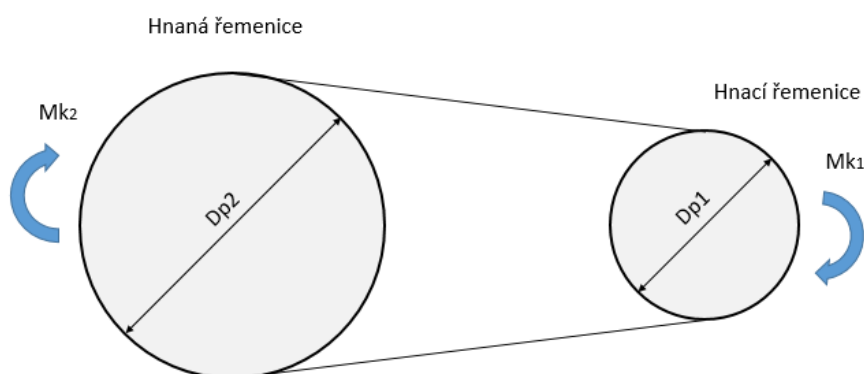
#### Rozměry řemenic

Označení	Typ	Materiál	dp	Df	Dm	F	L
<b>18 5M 15</b>	Hnací	ocel	28,65	32	20	20,5	26
<b>40 5M 15</b>	Hnaná	ocel	63,66	71	38	20,5	28



Převodový poměr je dán vztahem  $i = \frac{D_{p2}}{D_{p1}} = \frac{Mk_2}{Mk_1}$

$$Mk_1 = \frac{D_{p1}}{D_{p2}} \cdot Mk_2 = \frac{28,65}{63,66} \cdot 4,76 = 2,15 \text{ Nm}$$



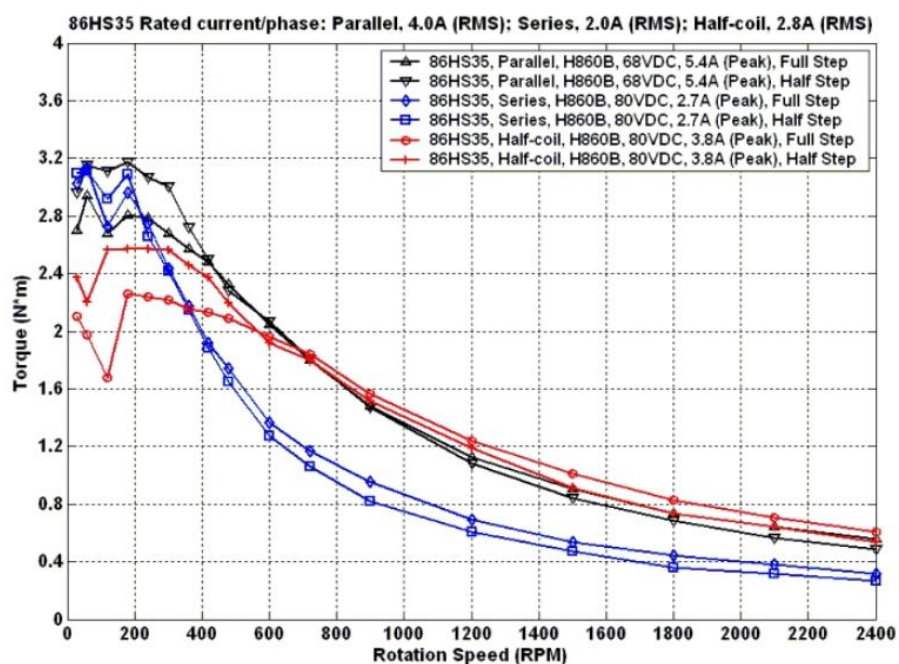
Obr. 56 – Znáznornění momentů na řemenicích

Na základě tohoto měření jsem vybral motor 86HS35



Model Number	Connection	Motor Length L inch (mm)	Holding Torque Oz-in (Nm)	Number of Leads	Phase Current (Amps)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Rotor Inertia Oz-in-sec <sup>2</sup> (g.cm <sup>2</sup> )	Detent Torque Oz-in (g.cm)	Weight Oz (kg)
86HS35	Bipolar (Parallel)	2.56 (65)	495.6 (3.5)	8	4.0	0.7±10%	3.9±20%	0.0142 (1000)	11.2 (800)	59.97 (1.7)
	Bipolar (Series)		495.6 (3.5)		2.0	2.8±10%	15.6±20%			
	Unipolar		311.52 (2.2)		2.8	1.4±10%	3.9±20%			

Obr. 57- Charakteristiky motoru 86HS35 [29]



Obr. 58 – Momentová charakteristika 86HS35 [29]

## 14 Řídicí systém

Aby bylo možné ovládat krokové motory a nastavit parametry skenování (rychlost posuvu skeneru, oblasti skenování atd.) je nutné zvolit vhodnou řídicí jednotku. Na trhu se vyskytuje velký sortiment profesionálních řídicích jednotek, jejichž cena se pohybuje i okolo několika tisíc korun. Proto jsem se rozhodnul použít systém Arduino. Jedná se o elektronickou platformu, která slouží k tvorbě prototypů či jednoduchých elektronických zařízení. Tato platforma je založena na jednoduché počítačové desce a vývojovém prostředí, které slouží k tvorbě softwaru. Díky své jednoduchosti a cenové dostupnosti si jej oblíbili zejména hobby stavitelé malých CNC strojů a 3D tiskáren.

Pro řízení pohybu skeneru jsem se rozhodl použít vývojovou platformu Arduino UNO. Tato platforma umožňuje zapojení širokého množství shieldů (zásuvných modulů) a dalších samostatných periférií, díky nimž získáváme nesčetné množství využití. Základní deska bude rozšířena o CNC shield, který je speciálně navrhnut pro řízení krokových motorů. Tato kombinace nám zabezpečí dostatečný počet vstupů, výstupů a umožní nám efektivně řídit pohony. Je třeba zmínit, že cílem této diplomové práce nebylo realizovat kompletní řídicí systém, nicméně je nutné ověřit veškeré pohony a správnou funkčnost jednotlivých os.

Jednotlivými pohybovými osami jsou:

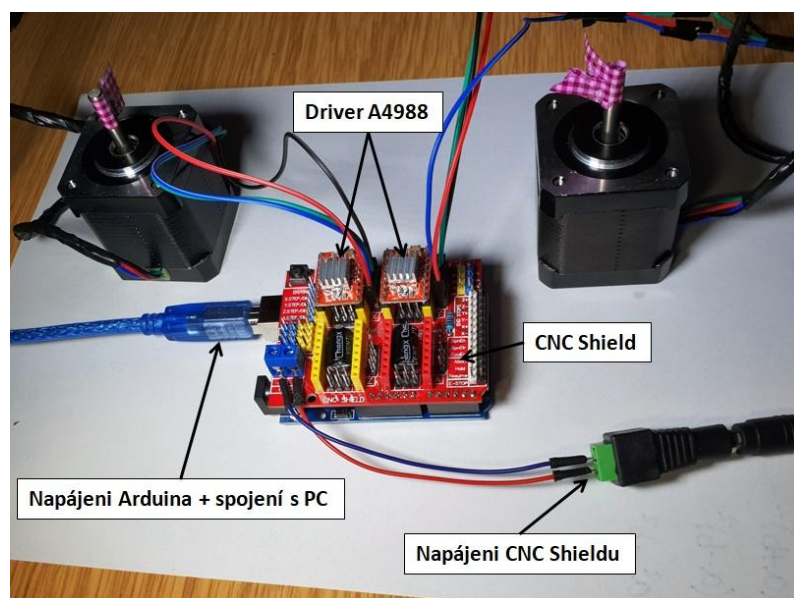
- Pohyb platformy po vertikální ose X
- Natáčení skeneru
- Rotace otočného stolu



*Obr. 59 – Arduino UNO*

## 14.1 Řízení osy Z a rotace skeneru

Pohyb těchto os, jak víme z předchozích kapitol, bude realizován pomocí motorů 42HS03 (NEMA 17). Tyto dva krokové motory jsou přímo zapojeny do CNC shieldu, ten je dále vybaven dvěma drivery pro krokové motory typu Pro Reprap 3DA4988. Tento CNC shield je poté zapojen přímo do základní desky Arduino UNO. Příklad zapojení pro tyto dvě osy je zobrazeno níže .



Obr. 60 – Schéma zapojení

Ovládání je realizováno pomocí programu grblControl. Tento program má jednoduchý layout. Lze v něm nastavit počet kroků, směr otáčení a rychlost posuvu. Po zadání požadovaných parametrů tento program odešle G kód do Arduino. Arduino poté tento kód zpracuje a rozpohybuje požadovaný krokový motor. Tento způsob nám bude bohatě stačit pro ověření funkčnosti jednotlivých os.

## 14.2 Řízení otočného stolu

Otočný stůl se bude otáčet konstantní rychlostí, která bude přednastavena programem. Do paměti Arduino se načte přednastavený program, tento program po sepnutí spínacího tlačítka začne otáčet krokovým motorem. Otáčení probíhá do té doby, než skončí skenování a vypne se spínací tlačítko



## 15 Cenová kalkulace

Tabulka 2

Kalkulace ceny zařízení			
Kalkulace dílů			
Název položky	Množství	Kusová cena	Celková cena
Arduino UNO	2	280 Kč	560 Kč
CNC Shield	2	195 Kč	390 Kč
Driver	3	156 Kč	468 Kč
Napájení	1	250 Kč	250 Kč
Krokový motor NEMA 17	1	499 Kč	499 Kč
Krokový motor NEMA 35	1	2 690 Kč	2 690 Kč
Koncový snímač	2	33 Kč	66 Kč
Indukční snímač	1	220 Kč	220 Kč
Vodící tyče	2	775 Kč	1 550 Kč
Ložisková jednotka EK 12	1	1 290 Kč	1 290 Kč
Ložisková jednotka EF 12	1	650 Kč	650 Kč
Vozík SMA-16	4	149 Kč	596 Kč
Vozík s trapézovou maticí	1	450 Kč	450 Kč
Držák tyče SK-16	4	65 Kč	260 Kč
Rám skeneru	1	8 100 Kč	8 100 Kč
Rám otočného stolku	1	3 440 Kč	3 440 Kč
Trapézový šroub	1	1 220 Kč	1 220 Kč
Ložisko otočného stolku	1	780 Kč	780 Kč
Spojovací materiál	1	300 Kč	300 Kč
Obrábění a Tisk			
Obrábění šroubu	-	-	2 200 Kč
Tisk součástí	-	-	11 000 Kč
Celková cena			<b>36 979 Kč</b>

Výsledná cena přesahuje odhadovanou cenu o 11 000 Kč. Nejdražší položkou je tisk součástí. Jedná se o velmi rychlou a efektivní tvorbu prototypů. Nicméně cena této technologie je daleko vyšší než cena konvenčních obráběcích metod. V případě vyššího počtu vyráběných dílů by bylo vhodné zvolit standardní metody výroby. Lze očekávat, že by to cenu výroby těchto dílů snížilo o 50%. Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

## Závěr

Cílem této práce bylo seznámit čtenáře s problematikou skenování a navrhnout zařízení pro automatické skenování osob

V první části diplomové práce uvádím čtenáře do problematiky skenování. Snažím se popsat základní metody a zařízení pro skenování. Popisuji čtenáři, kde může najít uplatnění skenerů v reálném životě a jakou hodnotu populaci přináší.

Hlavní část tvoří druhá polovina diplomové práce. V té se věnuji navrhování samotného zařízení. V úvodu popisuji základní prvky konstrukce a základní koncepci. Poté se věnuji dimenzování a návrhu jednotlivých komponent. Postup je seřazen chronologicky. Nejprve se věnuji výběru skeneru. Skenery, mezi kterými jsem volil jsem navzájem porovnal a na základě výsledků jsem vybral skener Sense. Ten je dražší než skener Kinect, ale nabízí nám daleko více možností a je uživatelsky mnohem příjemnější. Dále popisuju návrh rámu. Celý rám je demontovatelný z důvodu zvýšení mobility. Po rozebrání je obsluha schopna opět složit a připravit zařízení do 15 minut a začít skenovat. Jako prvky rámu jsme se rozhodl použít hliníkové profily. Poté se věnuji návrhu posuvného šroubu. Zamýšlím se a popisuju výhody a nevýhody použití kuličkového šroubu nebo trapézového šroubu a svou volbu odůvodním. Poměrně detailně se také věnuji návrhu krokových motorů a jejich dimenzování. V závěru práce popisuju mnou volený řídicí systém a cenovou kalkulaci.

V průběhu stavby se objevilo pár problémů. Trapézový šroub u našeho zařízení má délku 2 metry. A bylo nutné vytvořit patřičná osazení, která se budou sloužit pro uložení do ložiskových domků. Naše katedra nedisponuje zařízením, které by bylo schopno šroub této délky obrobit. Proto se musela najít externí firma s patřičným vybavením, které umožňovalo obrobení šroubu takovéto délky.

Mojí hlavní snahou bylo navrhnout zařízení, které bude levné a dokáže plnit stejné funkce jako některá profesionální zařízení. Nejednalo se o lehký úkol. Všechny profesionální firmy mají velkou finanční podporu a zázemí. Jejich vývoj může probíhat několik měsíců. Proto bych o mém zařízení spíše mluvil jako o prototypu. Nicméně tento prototyp bude schopný po mechanické stránce plně plnit funkce skenování. Návrh řízení a vytvoření skenovacího softwaru nebyl tématem této práce a bude podkladem pro diplomové práce nadcházející.



## Bibliografie

1. *Langweilův model Prahy*. [Online] Muzeum hlavního města Prahy. [Citace: 11. Únor 2018.] [www.lanfweil.cz](http://www.lanfweil.cz).
2. **ŠNAJDAREK, Ladislav**. *Metody 3D laserového skenování obrobku ve výrobním procesu*. Brno : VUT v Brně Fakulta Strojního Inženýrství, 2008. Bakalářská práce.
3. **CARRILLO, LAURA**. *centurymetalspinning.blogspot.cz*. [Online] [Citace: 14. Březen 2018.] [http://3.bp.blogspot.com/-CKGFVodOXj0/UBGofpKMUDI/AAAAAAAAAEM/cuCUNtGyXj8/s400/DSC\\_0744.JPG](http://3.bp.blogspot.com/-CKGFVodOXj0/UBGofpKMUDI/AAAAAAAAAEM/cuCUNtGyXj8/s400/DSC_0744.JPG).
4. **JANEČKA, Karel**. *Digitalizace výfukového potrubí*. Brno : VUT v Brně, 2009. Bakalářská práce.
5. *Ghost3d.com*. [Online] [Citace: 15. Březen 2018.] [http://www.ghost3d.com/ms-max\\_head1.jpg](http://www.ghost3d.com/ms-max_head1.jpg).
6. **MENDŘICKÝ Radomír, KELLER Petr**. *Obsluha měřicích zařízení*. Liberec : Technická Univerzita v Liberci, 2015.
7. **Šimoník, Martin**. Digitalizace její princip a rozdělení. *MM spektrum*. 16. 06 2004, 6, str. 28.
8. **Jurković, T., Karakašić, M., Kljajin, M**. *Optical digitalization of a spatial model by projecting coded light*. 2015. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/137984>.
9. **Wehner, Mike**. Watch 94 cameras clone a woman into virtual reality. *dailydot.com*. [Online] [Citace: 19. Březen 2018.] [https://www.dailydot.com/wp-content/uploads/827/88/Screen\\_Shot\\_2014-09-04\\_at\\_5.07.43\\_PM.jpg](https://www.dailydot.com/wp-content/uploads/827/88/Screen_Shot_2014-09-04_at_5.07.43_PM.jpg).
10. **Ilona, KALOVÁ a Karel, HORÁK**. Optické metody měření 3D objektů. *Elektrorevue*. 2005, Sv. 23, 12.4.2005.
11. **URBÁNEK, Aleš**. *KONTROLA SOUČÁSTÍ POMOCÍ METOD REVERZNÍHO INŽENÝRSTVÍ*. Brno : VUT v Brně Fakulta Strojního Inženýrství, 2008. Bakalářská práce.
12. **ČERMÁK, Jan**. *Metody 3D skenování objektů*. Brno : VUT v Brně Fakulta Strojního Inženýrství, 2015. Bakalářská práce.

13. **Joachim Hornegger, Jochen Penne.** Robust real-time 3D respiratory motion detection using time-of-flight cameras. *researchgate.net*. [Online] Březen 2018. [https://www.researchgate.net/profile/Joachim\\_Hornegger/publication/220245694/figure/fig1/AS:340633844764689@1458224845784/Different-ToF-cameras-Figure-1a-and-1b-ToF-principle-Figure-1c-and-example.jpg](https://www.researchgate.net/profile/Joachim_Hornegger/publication/220245694/figure/fig1/AS:340633844764689@1458224845784/Different-ToF-cameras-Figure-1a-and-1b-ToF-principle-Figure-1c-and-example.jpg).
14. Aniwaa. *3D body scanning, full body scanning and human body 3D scanners*. [Online] Březen 2018. <https://www.aniwaa.com/3d-body-scanning/>.
15. **Tišnovský, Pavel.** VRML:jazyk pro popis virtuální reality. *Root*. [Online] [Citace: 4. Duben 2018.] <https://www.root.cz/clanky/vrml-jazyk-pro-popis-virtualni-reality/#k02>.
16. **Blake, Joshua.** Kinect hacking: Weather map. *Makezine*. [Online] [Citace: 18. Duben 2018.] <https://makezine.com/projects/make-29/kinect-hacking-weather-map/>.
17. **Benedict, Tom.** Flickr. [Online] [Citace: 18. Duben 2018.] <https://www.flickr.com/photos/tbenedict/14365839926>.
18. Aliexpress. *Scanners*. [Online] [Citace: 18. Duben 2018.] <https://www.aliexpress.com/item/Sense-3D-handly-3D-scanner-240-w-x-320-h-px/1967615179.html>.
19. **TOMÁŠ, STRAPINA.** *Deskripce kuličkových šroubů*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. str. 34.
20. **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.** *Tvorba grafické vizualizace principu krokového motoru a jeho řízení*. Plzeň : Západočeská Univerzita v Plzni, 2014. Dostupné:<http://home.zcu.cz/~formanek/mmvukyka-amzt/Data/ivk-arvt-soubory/09-F.pdf>.
21. **Václav, Hejný.** *Řídící jednotka pro ovládání bipolárních krokových motorů*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2017. str. 44. Bakalářská práce.
22. **Jiří, Marek.** *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha : MM publishing, 2006. str. 282. ISSN 1212-2572.
23. PBC linear. *Stepper Motor NEMA 17*. [Online] [Citace: 19. Březen 2018.] <http://www.pbclinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf>.

24. **Josef, Thüring.** MM Spektrum. *Volba kuličkových šroubů.* [Online] Listopad 2008.  
<https://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html>.
25. *Burnbaby.ca.* [Online] [Citace: 15. Březen 2018.]  
<https://www.burnaby.ca/Assets/file+archive.jpg>.
26. *gom.com.* [Online] 19. Březen 2018.  
[https://www.gom.com/fileadmin/\\_processed\\_/4/e/csm\\_gom\\_atos-triple-scan\\_instrument-panel\\_touch-probe\\_75f885b215.jpg](https://www.gom.com/fileadmin/_processed_/4/e/csm_gom_atos-triple-scan_instrument-panel_touch-probe_75f885b215.jpg).
27. *Texel.graphics.* [Online] [Citace: 16. Březen 2018.]  
<http://texel.graphics/img/portfolio/big/i01.jpg>.
28. *Unet.cz.* [Online] [Citace: 15. Březen 2018.]  
<https://www.unet.cz/blog/2017/11/21/proc-rozdelit-pevny-disk/>.
29. Krokové motory 2f . *cncshop.cz.* [Online] [Citace: 19. Březen 2018.]  
<http://www.cncshop.cz/86hs35-krokovy-2-fazovy-motor-3-5nm>.
30. **Ševic, Martin.** *Konstrukce malého CNC stroje pro model výrobního systému s koncepcí Průmyslu 4.0.* Liberec : Technická Univerzita v Liberci, 2017. Diplomová práce.
31. Artec Shapify Booth. *Aniwaa.com.* [Online] [Citace: 6. Březen 2018.]  
<https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/artec-shapify-booth/>.
32. Learn more. *fuboss.es.* [Online] [Citace: 19. Březen 2018.]  
<https://www.fuboss.es/learn-more/>.
33. Servo Drive. *www.servo-drive.cz.* [Online] [Citace: 13. Duben 2018.]  
[https://www.servo-drive.cz/special\\_custom\\_stepper\\_motors.php](https://www.servo-drive.cz/special_custom_stepper_motors.php).

## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1** – Obrázek hotového zařízení

## Příloha 1 – Hotové zařízení

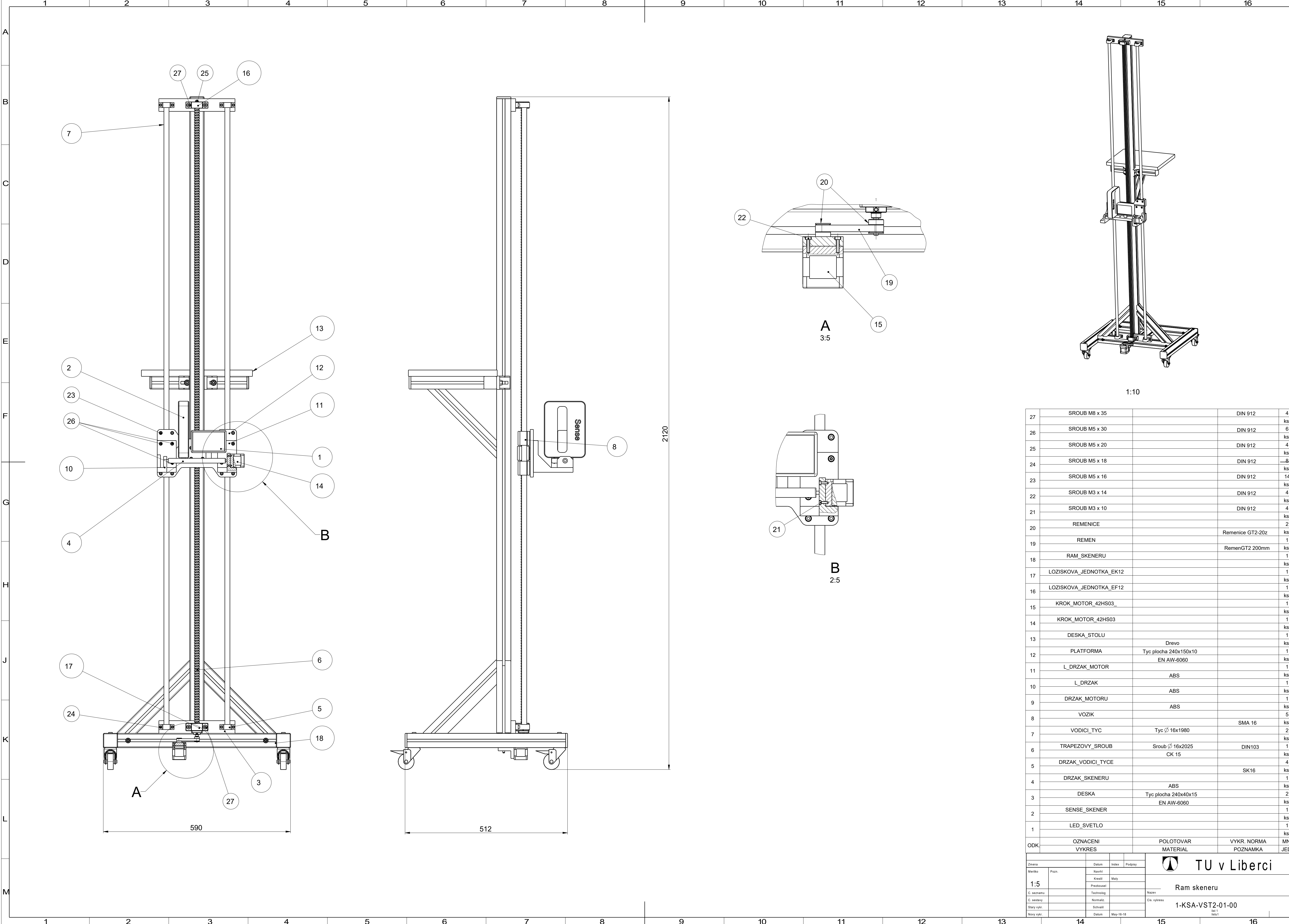


## Seznam obrázků

Obr. 1 – Porovnání historie s budoucností [25] [28] .....	11
Obr. 2 – Naskenovaná tvář (vlevo mrak bodů, vpravo tvář tvořena plochami) .....	12
Obr. 3 – Rozdělení skenerů [12] .....	12
Obr. 4 – Staré město, předmostí Karlova mostu (papírový model) [1] .....	13
Obr. 5 – Souřadnicový měřicí přístroj [3] .....	14
Obr. 6 – Mechanická paž použita pro mapování bodů tváře [5] .....	15
Obr. 7 – Princip snímání polohy laserového skenu [6] .....	16
Obr. 8 – Optický skener ATOS Triple Scan [26] .....	17
Obr. 10 – Příklad zařízení pro fotogravimetrii [9] .....	18
Obr. 9 – Dělení optických skenerů .....	18
Obr. 11 – Strukturovaný svazek světla [11] .....	19
Obr. 12 – Matematický model 3D skenu .....	20
Obr. 13 – Kalibrační kříž pro kalibraci skeneru ATOS [6] .....	21
Obr. 15 – Princip metody TOF [13] .....	22
Obr. 14 – Systém stereovidění .....	22
Obr. 16 – Skenovací kabinka [14] .....	23
Obr. 17 – Skenování vývoje těhotné ženy [14] .....	24
Obr. 18 – Skenování pahýlu pro vytvoření protézy [14] .....	25
Obr. 19 – Vytištěné figurky [14] .....	25
Obr. 20 – Příklad skeneru používaný pro fitness účely [14] .....	26
Obr. 21 – Vizualizace zkoušeného oblečení [14] .....	26
Obr. 22 – Texel skener (vlevo), vytištěný model po naskenování(vpravo) [27] .....	27
Obr. 23 – Artec Shapify Booth [31] .....	28
Obr. 24 – Fuboss Scanner [32] .....	29
Obr. 25 – Příklad modelu ve formátu VRML .....	30
Obr. 26 – Znázornění pohyblivých os .....	32
Obr. 27 – Vlevo snímač IP S-8 , vpravo koncový snímač MSW-0 .....	33
Obr. 28 – Kinect .....	34
Obr. 29 – Kamery Kinectu [16] .....	35
Obr. 30 – Projekce teček v IR spektru [17] .....	35
Obr. 31 – Sense 3D scanner [18] .....	36
Obr. 32 – Rozhraní softwaru pro skener Sense .....	36
Obr. 33 – Necelistvá barevná mapa .....	37

Obr. 34 – LED světlo .....	37
Obr. 36 – Mapa odchylek Sense .....	38
Obr. 35 – Sken Atos Triple Scan .....	38
Obr. 37 – Mapa odchylek Kinect.....	39
Obr. 38 – Rozhraní softwaru May-CAD .....	40
Obr. 40 – Konstrukce rámu stolku.....	41
Obr. 39- Konstrukce rámu .....	41
Obr. 41 – Porovnání trapézového (vlevo) kuličkového (vpravo) šroubu .....	42
Obr. 42 – Řez kuličkovým šroubem [24] .....	42
Obr. 43 – Síly působící na šroub.....	44
Obr. 44 – Ložiskové domky EK a EF .....	47
Obr. 45 – Zleva lineární set a držák vodících tyčí .....	48
Obr. 46 – Neodlehčený díl.....	48
Obr. 48 – Finální podoba platformy s upevněním skeneru.....	49
Obr. 47 – Odlehčený díl.....	49
Obr. 49 – Znázornění jednotlivých cívek rotoru [33] .....	51
Obr. 50 – Řez krokovým motorem [33] .....	51
Obr. 51 – Kinematické uspořádání [22].....	52
Obr. 52 – Závislost úhlu stoupání na účinnosti [30] .....	53
Obr. 53 – 42HS03 [23] .....	57
Obr. 54 –Momentová charakteristika 42HS03 [23].....	57
Obr. 55 – Místo měření síly .....	58
Obr. 56 – Znázornění momentů na řemenicích .....	59
Obr. 57- Charakteristiky motoru 86HS35 [29] .....	60
Obr. 58 – Momentová charakteristika 86HS35 [29].....	60
Obr. 59 – Arudino UNO .....	61
Obr. 60 – Schéma zapojení .....	62

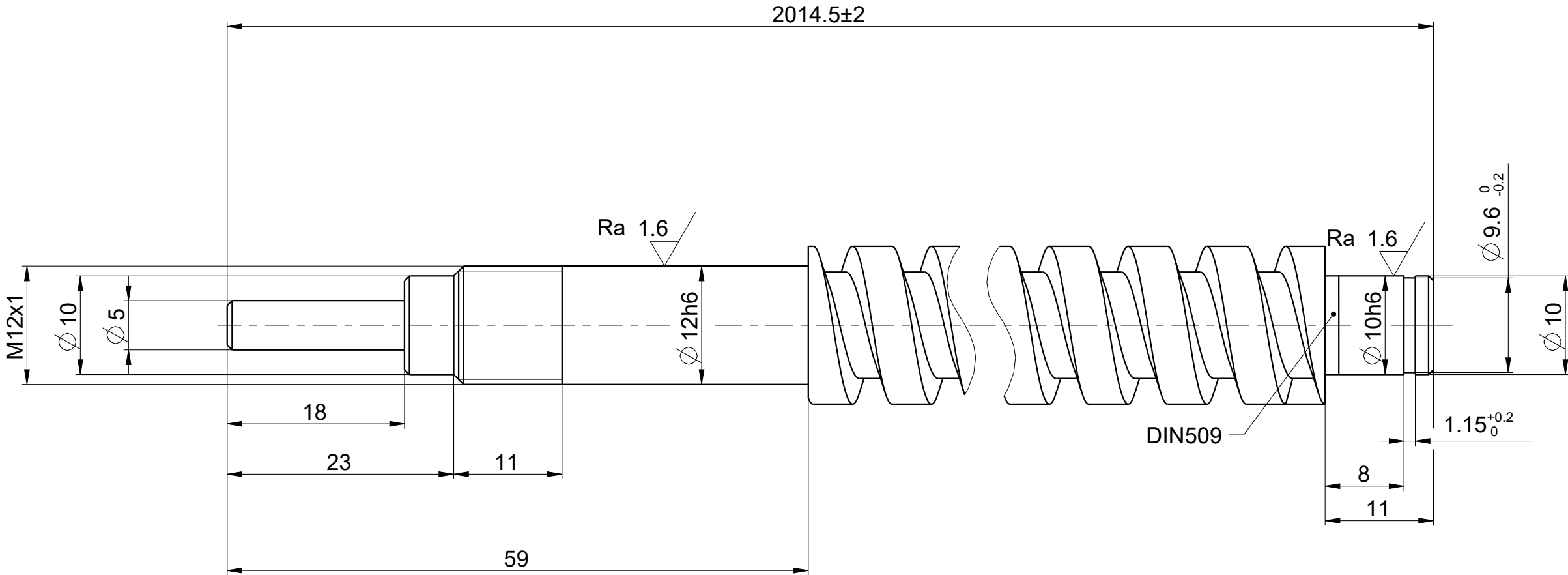




27	SROUB M8 x 35		DIN 912	4
26	SROUB M5 x 30		DIN 912	6
25	SROUB M5 x 20		DIN 912	4
24	SROUB M5 x 18		DIN 912	8
23	SROUB M5 x 16		DIN 912	14
22	SROUB M3 x 14		DIN 912	4
21	SROUB M3 x 10		DIN 912	4
20	REMENICE			2
19	REMEN	Remenice GT2-20z		1
18	RAM_SKENERU	RemenGT2 200mm		1
17	LOZISKOVA_JEDNOTKA_EK12			1
16	LOZISKOVA_JEDNOTKA_EF12			1
15	KROK_MOTOR_42HS03			1
14	KROK_MOTOR_42HS03			1
13	DESKA_STOLU			1
12	PLATFORMA	Drevo		1
11	L_DRZAK_MOTOR	Tyc plocha 240x150x10		1
10	L_DRZAK	EN AW-6060		1
9	DRZAK_MOTORU	ABS		1
8	VOZIK	ABS		5
7	VODICI_TYC	ABS	SMA 16	2
6	TRAPEZOVY_SROUB	Tyc Ø 16x1980		1
5	DRZAK_VODICI_TYCE	Sroub Ø 16x2025	DIN103	4
4	DRZAK_SKENERU	CK 15		1
3	DESKA		SK16	2
2	SENSE_SKENER			1
1	LED_SVETLO			1
ODK.	OZNACENI_VYKRES	POLOTOVAR_MATERIAL	VYKR. NORMA_POZNAMKA	MN. JED.

Zmena	Pozn.	Datum	Index	Podpisy		TU v Liberci
Meritko		Navrh	Kresli	Malý		
C. seznamu		Technolog			Nazev	Ram skeneru
C. sestavy		Normaliz.			Cis. vykresu	1-KSA-VST2-01-00
Stary vykr.		Schválil			Skusil	
Nový vykr.		Datum	May-16-18			

Ra 3.2 ( Ra 1.6 )



ISO2768-mK

		d)		<div>PROMÍTÁNÍ</div> <div></div>	Materiál	CK 15
		c)			Polotovaz	Trapézový šroub 16x2025
		b)			Cistá hmotnost	2.415 kg
		a)				
Změna		Datum	Index	Podpis	Technická Univerzita v Liberci	
Měřítko	Poznámka	Navrhl				
2:1		Kreslil	Malý		Název	Trapézový šroub
		Přezkoušel				
C. seznamu		Technolog			Typ	
C. sestavy		Normalizace			Cís. výkresu	3-KSA-VTS2-01-02
Starý výkres		Schválil				
Nový výkres		Datum	Mar-29-18			List 1/1

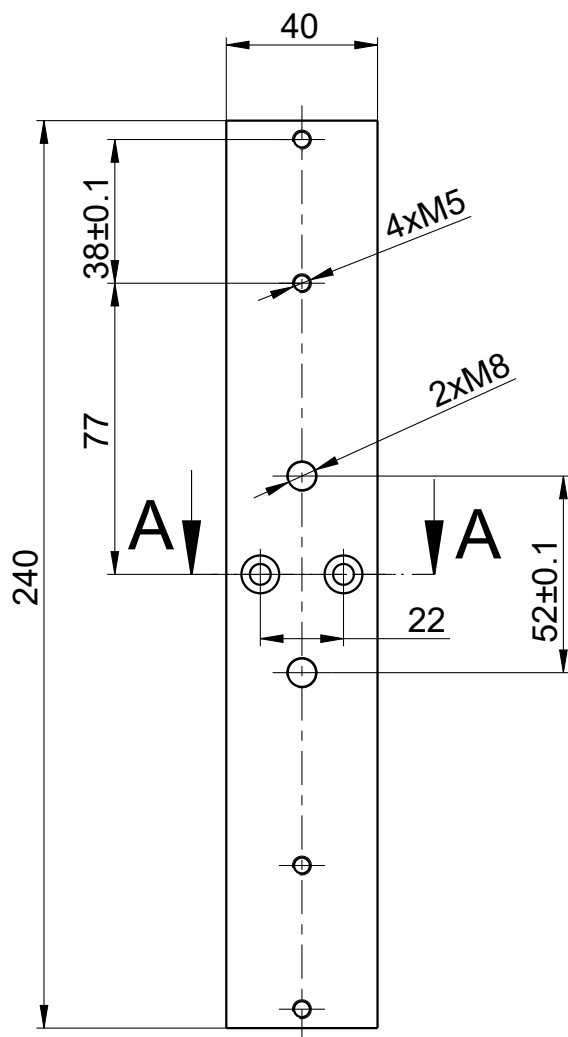
1

2

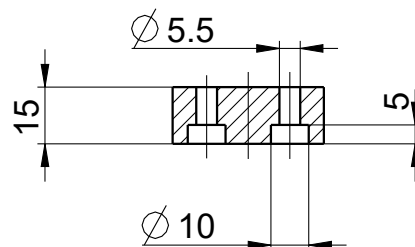
3

4

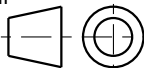
3.2



A-A

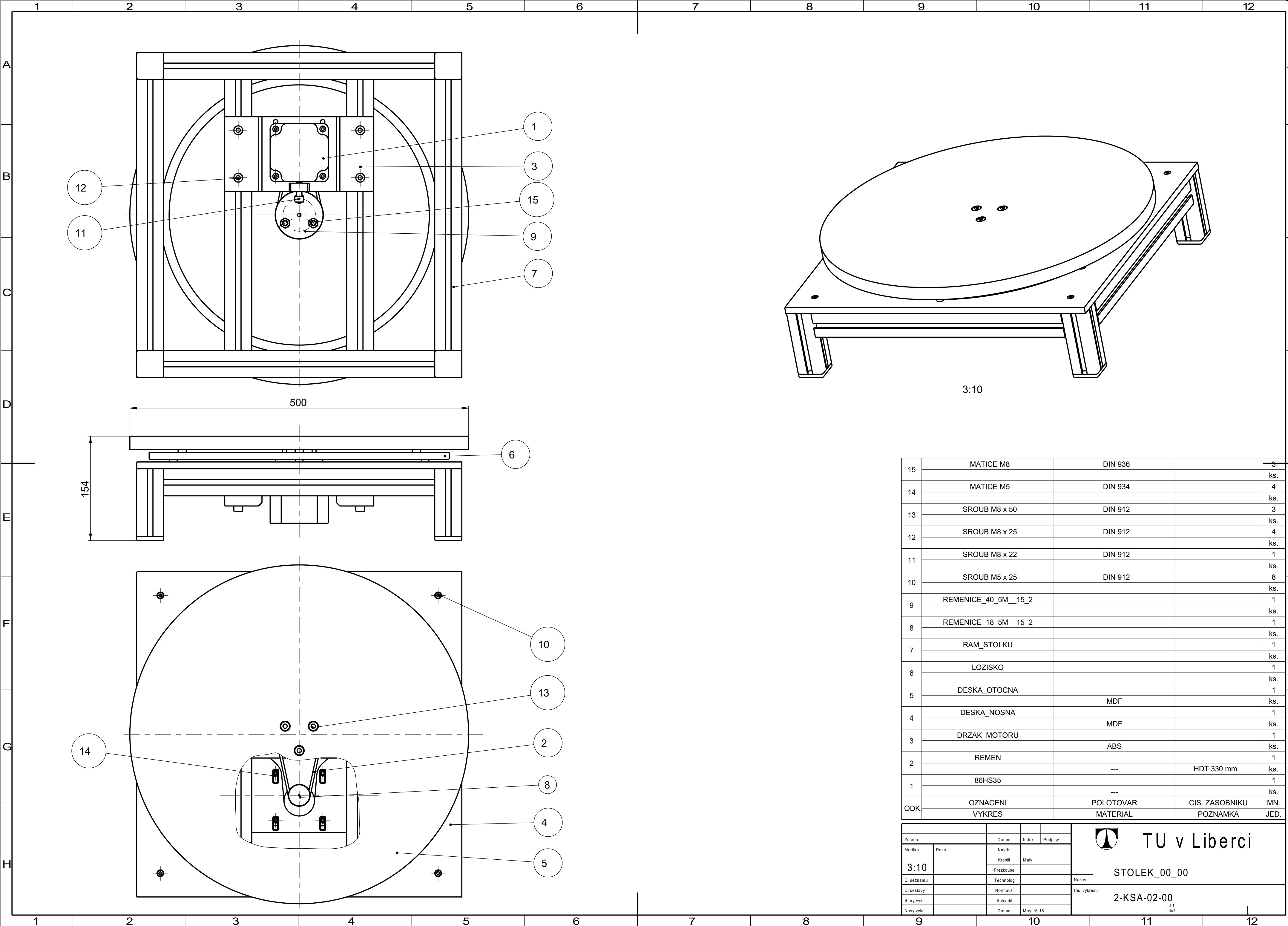


ISO 2796-mK


		d)		PROMÍTÁNÍ 	Materiál	EN AW-6060
		c)			Polotovar	Tyc plocha 240x40x15
		b)			Čistá hmotnost 0.393 kg	
		a)				
Změna		Datum	Index	Podpis	Technická Univerzita Liberec	
Měřítka	Poznámka	Navrhl				
1:2		Kreslil	Maly		Název	
		Přezkoušel			Typ	
C. seznamu		Technolog			Čís. výkresu 4-KSA-VTS2-01-01	
C. sestavy		Normalizace				
Starý výkres		Schválil				
Nový výkres		Datum	Apr-25-18		List 1/1	

1

4



15	MATICE M8	DIN 936		3
				ks.
14	MATICE M5	DIN 934		4
				ks.
13	SROUB M8 x 50	DIN 912		3
				ks.
12	SROUB M8 x 25	DIN 912		4
				ks.
11	SROUB M8 x 22	DIN 912		1
				ks.
10	SROUB M5 x 25	DIN 912		8
				ks.
9	REMENICE_40_5M__15_2			1
				ks.
8	REMENICE_18_5M__15_2			1
				ks.
7	RAM_STOLKU			1
				ks.
6	LOZISKO			1
				ks.
5	DESKA_OTOCNA			1
				ks.
4	DESKA_NOSNA	MDF		1
				ks.
3	DRZAK_MOTORU	MDF		1
				ks.
2	REMEN	ABS		1
				ks.
1	86HS35	---	HDT 330 mm	1
				ks.
ODK.	OZNACENI	POLOTOVAR	CIS. ZASOBNIKU	MN.
	VYKRES	MATERIAL	POZNAMKA	JED.

						TU v Liberci	
Zmena		Datum	Index	Podpis			
Meritko	Pozn.	Navrh					
		Kresil	Maly				
3:10		Prezkousel					
C. seznamu		Technolog		Nazev	STOLEK_00_00		
C. sestavy		Normaliz.		Cis. vykresu	2-KSA-02-00		
Stary vykr.		Schvall					
Novy vykr.		Datum	May-16-18		list 1 listu 1		